



日本気象学会北海道支部機関誌

細氷

41
1995

— 目 次 —

1. 支部長挨拶	菊地 勝弘	1
2. 解説		
● 気象業務法の改正と気象予報士	山崎 道夫 (気象協会道本部)	2
3. 平成6年度第2回支部研究発表会要旨		9
4. 平成7年度第1回支部研究発表会要旨		30
5. 第13回夏季大学「新しい気象」講座		
夏季大学雑感	若林 徳司 (気象協会道本部)	52
● 地震はなぜ起こる	岡田 廣 (北海道大学大学院理学研究科)	54
● 小惑星	渡辺 和郎 (札幌市青少年科学館)	71
● 札幌の気象特性	柏原 辰吉 (札幌総合情報センター)	89
● 気象業務法改正と気象予報士	若林 徳司 (気象協会道本部)	98
6. 平成6年度気象講演会		
気象講演会雑感	富沢 節夫 (札幌管区气象台)	102
● 十勝春風考 — 十勝の風と災害 —	三輪 健治 (元釧路地方台長)	103
● 十勝の寒さと土壤凍結	土谷富士夫 (帯広畜産大学)	106
● 冬の道路気象	竹内 政夫 (気象協会)	110
7. 平成7年度北海道支部気象講演会のお知らせ		
8. 写真訪問		
● 毛無山気象レーダー観測所	金子 和康 (札幌管区气象台)	115
9. 会員寄稿		
● 南鳥島 — 日本最東端の気象観測所 —	青山 隆 (札幌管区气象台)	118
● カナダ北極圏タクトヤクタク滞在記	遊馬芳雄・岩田総司・島村泰介 (北海道大学大学院理学研究科)	121
10. 平成7年度支部総会報告		125
11. 役員会報告		130
12. 支部役員		133
13. 支部会員名簿		134
14. 交換機関誌		145
15. 通信欄		146

平成7年9月

日本気象学会 北海道支部

社団法人 日本気象学会 北海道支部規約

S32. 7.11 制 定
S40. 8. 7 一部改正
S45. 6.24 一部改正
S53. 5.30 一部改正
S62. 6.10 一部改正
H 2. 6.19 一部改正
H 5. 6.11 一部改正

- 第一条 本支部は社団法人日本気象学会北海道支部という。
- 第二条 本支部は事務局を札幌市中央区北2条西18丁目札幌管区気象台内におく。
- 第三条 本支部は北海道に在住するすべての日本気象学会会員によって構成される。
- 第四条 本支部は日本気象学会の定款の範囲内で事業を行なうが、特に支部会員の研究の奨励推進、ならびに相互の連絡につとめることを目的とする。
- 第五条 本支部は前条の目的を達成するために講演会ならびに学術的会合の開催その他本支部の目的にかなうと思われる事業を行なう。
- 第六条 本支部の事業年度は毎年4月1日にはじまり翌年3月31日に終る。
- 第七条 本規約の実行に必要な細則は支部理事会の決議によって別に定める。支部理事会は支部の理事および当支部に籍をおく全国理事によって構成される。
- 第八条 本支部に次の役員をおく。
理 事 7名 (内支部長1名、常任理事4名)
会計監査 1名
幹 事 6名
- 第九条 理事および会計監査は支部会員の互選によって定める。
- 第十条 支部長および常任理事は理事の互選によって理事の中から定める。
- 第十一条 幹事は支部長の指名による。
- 第十二条 支部長は本支部を代表して会務を総理する。支部長に事故ある時は、支部長があらかじめ指名した常任理事がその職務を代行する。
- 第十三条 理事および幹事は本支部の会務を行なう。会計監査は本支部の会計を監査する。
- 第十四条 役員任期は2年とする。但し重任は妨げない。理事および会計監査は任期満了後でも後任者の就任するまでその職務を行なう。
- 第十五条 総会の開催、議決等は日本気象学会定款に準じて行なう。

北海道支部役員選挙規則

- 第一条 理事および会計監査選挙の投票日は理事会で決定する。
- 第二条 支部長は投票締切日の15日前までに投票用紙および支部会員名簿を会員に配布し周知を図るものとする。
- 第三条 投票は無記名、文書投票とし理事は定数内の連記とし、会計監査は単記とする。
- 第四条 有効投票により投票の多い順に当選とする。投票数が同じものが2名以上出た場合は年長順とする。
- 第五条 理事および会計監査に欠員を生じた場合は、理事会の推薦によって補充する。
- 第六条 開票は常任理事立会のもとに行なう。
- 第七条 開票の結果は理事会に報告し、「細氷」または「天気」に掲載する。

支 部 長 挨 拶

日本気象学会北海道支部の第19期の支部長に就任してから1年が経ちました。昨年度の当支部が遂行した事業をみてみますと、総会、研究発表会は勿論のこと、夏季大会は12回目を行い、今回は特に気象に限らず、札幌市青少年科学館の御協力を得て「星空ウォッチング」といった、あまり話を聞くことの出来ない分野の話題を取り入れました。また、支部気象講演会が10月14日帯広市の勝毎ホールで「十勝の気象と生活」というテーマで行われました。特別講演会はアメリカ National Severe Storms Laboratory の Dr. D. S. Zrnica が、支部機関誌「細氷」も40号が発行されました。



今年度は、通常行われている活動の他に、支部気象講演会は市民大学講座「新しい気象学」(釧路湿原の大気環境と北海道周辺の地震活動)として釧路市で開催される予定です。この活動に対しては、平成7年度文部省科学研究費補助金研究成果公開促進費「研究成果公开发表(B)」が充てられます。北海道支部の今日までの地道な努力の一端が報われたとみるべきで、画期的なことだと思います。しかし、この予算については来年度以降も配当されるかどうかは現在のところ未定です。積極的に計画調書を提出し、継続できるようにしたいと思っております。尚、市民大学講座「新しい気象学」、また今年度の第13回夏季大会「新しい気象」に「地震はなぜ起こる」と「小惑星」の講義を取り入れました。昨今の活発な地震活動や、数少ない宇宙関係の講義も聴きたいという多くの参加者の声を反映したものであります。皆様のご理解をいただけますと幸いです。

今年度も会員皆様方の積極的な御協力をお願いいたします。

日本気象学会北海道支部

支部長 菊地 勝弘

(北海道大学大学院理学研究科教授)

一 解 説 一

気象業務法の改正と気象予報士

（勸）日本気象協会北海道本部 山 崎 道 夫

1 はじめに

このような表題については、本誌の趣旨から多少の違和感を抱く向きがあるかも知れない。しかし、従来国の専管に近い形で進んできた気象事業に関して、国（気象庁）と民間との役割分担の明確化、特に民間気象事業者による局地予報の一般への発表が可能になったこと、および気象予報士制度の創設を打ち出した意義は大きい。気象事業の方向転換という点で、画期的な出来事といえよう。

いうまでもなく、気象学における最大の応用分野は天気予報であり、これらは相互に依存・刺激し合いながら発展してきた。予報する側から見れば、学問的進歩の成果がいち早く解析・予測の現場に取り入れられ、一方で予報上での実際の問題点が研究者に新たな目標を与えるというフィードバックがうまく働くのが望ましい姿である。

近年、急速に整ってきた学問的背景と高度の科学技術に支えられて気象の分野における観測、集信・解析、計算・予測処理技術の進歩は目覚ましいものがある。一方、高度情報化社会は気象予報の利用分野を拡大し、諸々の産業活動・個人の日常活動を問わず要望が多様化・高度化してきた。「何時でも、何処でも、きめの細かい信頼度の高い気象情報を」「私の気象台が欲しい」という訳である。

気象予報は、現象の性質から100%の精度を望むことには無理があり、最終的にいかに利用するかは受け手の判断に委ねなければならないが、平均的的な中率・予想天気図の精度は確実に上がってきている。30年前には考えられなかった週間予報の毎日発表も実現した。

ここでは、気象予報士制度の生れた経緯と仕事の内容等について概観し、参考に供したい。

2 気象業務法の改正まで

気象庁は、平成3（1991）年3月、長官の諮問機関である気象審議会に対して「社会の高度情報化に適合する気象サービスのあり方」について諮問を行った（諮問18号）。

気象審議会は昭和31（1956）年以来、各種業務の節目において諮問に対する答申や建議を行ってきた。18号と同様のものとしては、昭和39（1964）年の諮問6号「今後の社会的要請に対応する気象業務のあり方およびその推進方策について」とそれに対する答申6、6-2号（昭和41~42年）があり、改正前の気象業務

法とともに対社会の基準的考え方となってきたが、ここ数年気象サービス全体（情報産業としての側面を含めて）の見直しが急務となって来たものである。

平成4（1992）年3月、諮問18号に対して答申がなされた。これを受けて気象庁は、気象業務法の一部改正案を国会に提出し、平成5（1993）年5月13日の通常国会で成立した。

答申では、現代社会にあつては、気象情報についても「欲しい時に、欲しい情報を」、つまり利用者の目的に即した確度の高い情報を、必要に応じて入手したいという国民の要望の高まりに応えるよう気象サービスの改善を図ることが重要であると指摘した上、気象庁と民間気象事業者との役割分担を明確にし、連携・協力を強化することによって、総合的なサービスの向上を推進することが提言された。

この中で、気象庁に対しては、①国民の生命と財産を守るための「防災気象情報」と公共の利益のためにナショナルミニマムとしての「一般向け天気予報」の発表を求めると同時に、②民間気象事業の振興を図る上で必要な基礎的データの提供を求めた。一方、民間の役割としては、①企業・産業活動、市民のレジャー活動等の判断材料、および地域メディアの発信情報としての“対象地域を特定した局地的な一般向け天気予報”と、②利用者の個別的目的に即した付加価値情報の提供等が考えられた。しかし、気象情報の性格からみると、異常気象時における混乱・パニック防止策を講ずることがぜひ必要であり、そのため情報の精度と質を確保する手段として、アメリカで実績のある「技能検定制度」の導入を提言したものである。

気象業務法の改正は、この趣旨に沿った内容であった。その骨子は、①気象庁以外の子報業務許可事業者（民間気象事業者のうち子報業務許可を得た者、以下しばしば子報事業者と略記）が行う予報業務の充実を図ることと、そのための「気象予報士」制度の創設、②気象庁が保有している予想資料の提供体制の整備、③気象業務の健全な発展を図るため、民間気象業務支援センター（公益法人）を指定し、気象庁の持っている大量の資料・情報の提供、社会活動への気象情報の利用促進を図る、といった点である。

これを受けて、①本年5月18日以降、従来子報事業者に認められなかった独自の一般向け予報のうち、対象地域が局地のものについては許可の対象とする。局地とは当面市区町村程度の区域、又はそれより狭い区域を指す。②「解説予報」を許可事項から除き、予報の解説は自由に行うことが出来るようにする、など規制を緩めて民間気象事業の振興を図ることになった。

新しい気象業務法のうち、予報業務の許可と気象予報士に関する条文の要点は次の通りである。

◇予報業務の許可（第17条）

気象庁以外の者が予報業務を行おうとする場合は、気象庁長官の許可を受けなければならない。

（なお、17条では気象の予報の他に、地震・火山を除く地象、津波、高潮、波浪または洪水の予報も許可の対象とされている。しかし、波浪以外は警報と一体的関係を持つことから当面は民間の子報事業者に対して認められない。従って「気象予報」と「波浪予報」の業務が許可の対象となる。23条では、気象庁以外の者は警報を行ってはならない、となっている）。

◇許可の基準（第18条）

①その予報業務を的確に遂行するに足りる、観測その他の予報資料の収集および予報資料の解析の施設・要員を整えていること。

②その予報業務の目的及び範囲に係わる気象庁の警報事項を迅速に受けることができる施設・要員を整えていること。

③その予報業務を行う事業所につき、規定にしたがった人数の気象予報士を置くこと。

◇気象予報士の設置（第19条の2）

予報業務の許可を受けた者は、その予報業務を行う事業所ごとに、運輸省令で定めるところにより、気象予報士を置かなければならない。

◇気象予報士に行わせなければならない業務（第19条の3）

予報業務の許可を受けた者は、予報業務のうち「現象の予想」については、気象予報士に行わせなければならない。

◇試験（第24条の2）

気象予報士になろうとする者は、気象庁長官の行う気象予報士試験に合格しなければならない。試験は必要な知識および技能について行う。

3 国と民間との役割分担

改正業務法施行（平成7年5月18日）以前と現在で両者の役割がどのように変わったかを見ると概ね次のようになる。

A. 5月18日以前

○気象庁：

- 1) 注意報・警報等の防災気象情報の発表
- 2) 一般（不特定多数）向け天気予報のすべて
- 3) 基幹的観測の実施、予測基礎データの提供

○予報事業者：

- 1) 特定企業・個人との契約に基づく「独自予報」
 - 2) テレビ・ラジオ等の「解説予報」
(気象庁が発表した予報を分かりやすく解説した情報)
- 1、2とも許可対象であった。

B. 5月18日以後

○気象庁：

- 1) 注意報・警報等の防災気象情報の発表（内容充実）
- 2) ナショナルミニマムとしての一般向け天気予報
(平7年度末からメソ量的予報など内容の充実を実現)
- 3) 基幹的観測の実施、予測基礎データの提供

(提供体制の整備、データの積極開放)

○予報事業者：

- 1) 対象地域を特定した一般向け局地天気予報
(テレビ等による独自予報の放送可能)
 - 2) 特定企業・個人との契約による「独自予報」・コンサルティング
 - 3) 「解説予報」は許可不要
- 1、2は許可対象、3は対象外となった。

平成7(1995)年6月現在の予報事業者は、民間気象事業者22(うち2は民放所属の個人)、自治体3、防衛庁(民間航空と共同管理の飛行場予測)、計26である。民間気象事業者の中には観測等が業務主体のため、予報業務を行わない会社もある。

以上の流れを示したのが図-1である。気象庁は国レベルでなければ出来ない基幹的な観測を行うとともに、全世界の観測データを収集し、スーパーコンピュータを駆使して数値予報等の予測データを作成する。また、警報・注意報などの防災情報と一般向けの府県または府県を数区分した短期予報や週間予報・季節予報などを発表する。予報事業者は、一般向けの局地天気予報(週間予報・季節予報も可)と、特定契約者向けの予報・コンサルタントを行うが、独自観測データ(届出地点)を加えることができ、気象予報士が担当する。お天気キャスターについては、気象庁や予報事業者が作成した予報を解説する限り、気象予報士の資

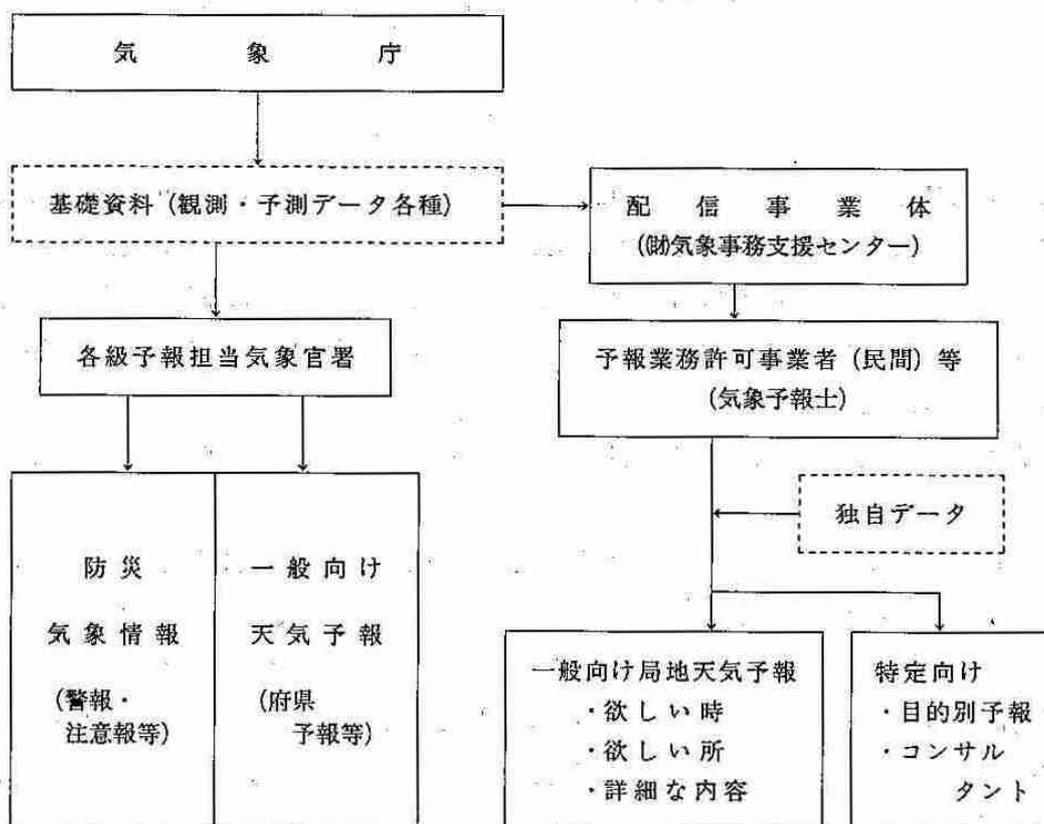


図-1 新しい気象情報の流れ(平成7年5月18日以降)

格は要らない。

なお、平成6年3月に財団法人気象業務支援センターが設立された。気象予報士試験の指定機関として試験の実施に携わっているほか、気象庁から提供される各種資料の配信機関としての任務をも果たしている。

4 予報業務許可事業者と気象予報士の仕事

以上でおおよそ御理解いただけたと思うが、予報事業者（気象予報士）が実際に用いる資料を表-1に示した。気象庁が提供する資料は、気象業務支援センターを通じて配信される。勿論、行おうとする予報の内容によって適宜収集すればよい。

表-1 予報業務許可事業者が用いる観測その他の予報資料

	短時間予報 (3時間以内)	短期予報 (48時間以内)	中期予報 (7日以内)	長期予報 (1・3ヵ月、暖寒候期)
独自資料	現地観測値 (実況)	現地観測値 (実況)	現地観測値 (統計値も可)	現地観測値 (統計値)
気象庁 提供資料	天気予報 注意報・警報 気象情報 数値予報(狭領域モデル) 天気予報ガイダンス 降水短時間予報 アメダス実況資料 レーダー合成資料 波浪予報 波浪予報資料	天気予報 注意報・警報 気象情報 数値予報(狭領域モデル) 天気予報ガイダンス アメダス実況資料 波浪予報 波浪予報資料	週間天気予報 気象情報 数値予報(全球モデル) 天気予報ガイダンス アメダス実況資料 (統計値も可) 波浪予報 波浪予報資料	季節予報 季節予報資料

気象予報士の資格は、これらの予測データを用いて、利用者の多様な要望に適切に応える情報を、責任をもって作成できる知識と技術を持つことを認定する国家資格である。しかし、実際に資格を取得しても前述の施設・体制を個人で整備するのは容易でない。このため、有資格者は普通は予報事業者に所属していなければ腕をふるう機会がないことになる。現在、施設が整えられた民間テレビ局所属の気象予報士個人に対して事業許可が与えられている。

法17条（予報業務の許可）の“なお”書きで述べた通り、地象・津波・高潮・洪水の予報は当面許可されないので注意が必要である。

また、防災上の観点から、気象庁以外の者が警報を発表してはならないが(法23条)、注意報も同様に扱われ、かつこれらと紛らわしい名称を使ってはならないことになっている。大雨・大雪・暴風・暴風雪・洪水・高波の用語はその時の気象庁の警報・注意報と矛盾しないようにするなどの配慮も必要である。台風情報についても特定利用者向けの一部を除き、気象庁の情報の範囲を逸脱しない注意が求められている。ただし、23条には特例がある。すなわち、気象庁の警報事項を適時に受けることが出来なくなった（又は出来ない）辺すうの地の市町村長が発表する津波警報の場合である（施行令第8条）。

季節予報については、当然ながら農業・商業等の利用者に混乱を与えないよう、しっかりした科学的根拠

の下に予報を組み立てることが前提となる。

法19条の3で述べた気象予報士が行う「現象の予想」とは、時・場所を特定して天気・気温・風・雨雪量・波浪など個々の要素を予想することをいう。予想は収集した観測資料、およびこれに基づく予想資料を用い、自然科学的方法により客観性・合理性が確保されていなければならない。

		2 4 日												2 5 日											
		7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時	1時	2時	3時	4時	5時	6時
美 唄	天気	○	○	☉	☉	☉	☉	○	○	☉	☉	●	●	●	●	●	●	●	☉	☉	●	●	●	○	○
	気温	15.2	15.6	16.2	17.0	17.8	18.0	18.4	19.9	19.6	19.4	19.2	18.0	18.2	18.0	17.4	16.1	15.2	15.2	15.0	14.6	13.1	14.0	14.6	14.8
	湿度	42	44	48	45	52	53	56	58	58	58	64	68	68	62	65	64	64	64	62	64	68	68	64	58
	降水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.5	0.5	1.5	2.5	2.0	0.5	-	-	1.5	5.0	2.0	-

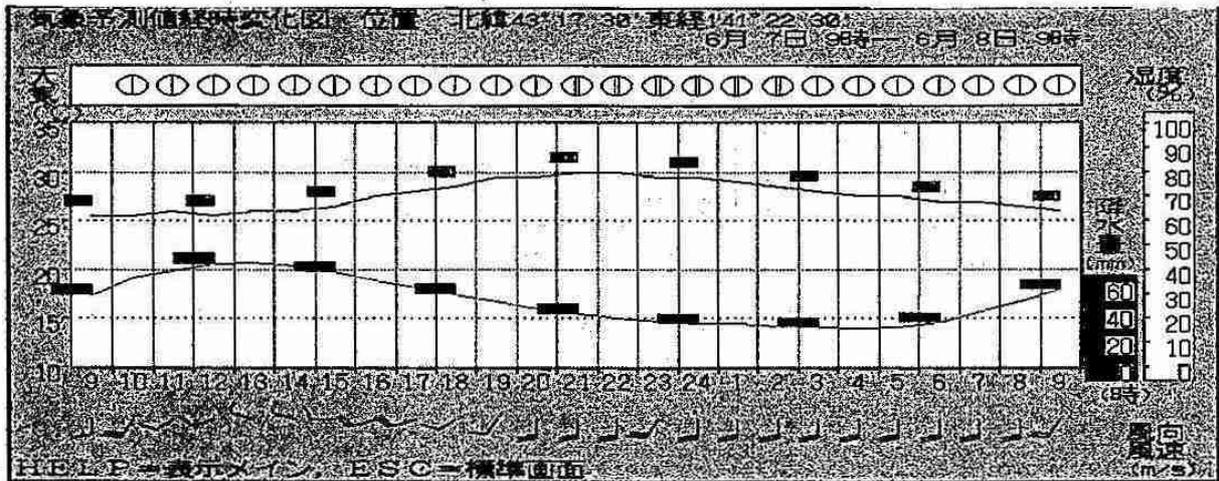


図-2 ポイント時系列予報の例

最近テレビで放映されているものと同様のポイント時系列予報の一例を図-2に示した。従来のせいぜい半日単位の予報に比べ、明らかに分かりやすく利用しやすくなっている。しかし、広範囲の予想天気図、G P Vデータ（格子点数値情報）などの客観的予想資料が気象庁から流れて来るのは12時間毎であるし、観測（00、12Z）後数時間経過しなければこれらの結果は出力されない。気象予報士の主要な任務は表-1の資料と開発した手法を用い、信頼度の高い独自の局地予報を組み立てることである。しかし、このような事情から、頻繁に送られてくるレーダー、アメダス、衛星資料など、最新の実況による短時間予報（予報の修正を含む）を公表していくことも役目であり、きめの細かい予報を求める利用者との接点に立った大切な仕事である。受信したG P Vデータの内挿によってメッシュを細分するようなことは予報的に無意味に近く発展性もない。今後、進展するに違いないリクエスト方式に対して、リアルタイムで対応できる技術力と体制整備が望まれる。

参考までに、気象庁が平成8年3月から運用開始予定の数値予報用新モデルの諸元は表-2のようになっている。現在のアジア域モデル（ASM）と日本域モデル（JSM）の区別はなくなり、全球モデル（GSM）と領域モデル20（RSM20）になるが、予報事業者に配信されるG P Vは現在の30 kmメッシュから20

表-2 新しい数値予報モデルの出力概要

		現在のモデル	新モデル
全球モデル	対象	惑星規模 総観規模	惑星規模 総観規模、台風
	分解能 予報時間	100km、21層 72時間 (00Z) 192時間 (12Z)	55km、30層 84時間 (00Z) 192時間 (12Z)
領域モデル	名称 対象	アジア域モデル 総観規模 メソ (500km以上)	領域モデル20 メソ
	分解能 予報時間	75km、16層 48時間	20km、36層 48時間
領域モデル	名称 対象	日本域モデル メソ (200km以上)	領域モデル10 メソ
	分解能 予報時間	30km、23層 24時間	10km、36層 18時間
台風モデル	対象 分解能 予報時間	台風 50km、8層 60時間	台風 40km、15層 78時間

(札幌管区気象台 札幌通信H7. 1. 20号による)

k mメッシュに改善される。さらに数年以内には日本域について10 k mメッシュのR S M10が計画されている。気象予報士の活躍の場が次第に拡大される訳である。

大気現象の性質からいって将来とも精度100%の予報は難しいであろう。従って、今後特に重要度を増し、また利用者にとって役に立つのは確率予報と思われる。確率予報は防災対策を取る場合にも使いやすい合理的な予測方式であり、特に量的予報に対して有効と考えられる。例えば、計算雨量30ミリと出ても、25～35ミリの間に入る確率が70%という情報を付加できるなら、受け手としてはより一層意味のある情報となる。

5 あとがき

近年、天気予報の学問的・技術的背景が急速に整えられてきた。しかし、局地予報の基礎となるメソスケール(特に20～200 k m規模のメソ β スケール)の現象になると発生や維持の仕組み、エネルギー変換過程など未解明の部分が多々あり、鋭意研究が進められている段階である。

今回、国と民間との役割の明確化が図られたが、国は今まで以上に国民の生命と財産を守る防災・異常気象対応に軸足を移し、一般的な予報・個別ニーズに対しては民間の比重が増すものと考えられる。

社会の高度化は都市型災害に象徴されるように、集中豪雨雪・台風による暴風雨に対して敏感になっており、場合によっては脆弱化と見られる面も否定できない。これらに対し、民間気象事業者も気象庁を積極的支援すると同時に、今回部分的とはいえ認められた「予報の自由化」の充実のために技術的研鑽を積んで、増大・多様化する利用者の要望に応える必要がある。

気象予報士試験の合格者は、第3回試験(H7. 3. 19)迄で、合計1,090名である。

—発表会要旨①—

平成6年度第2回支部研究発表会要旨

日時：平成6年11月25日（金）

場所：札幌管区气象台会議室

1. 氷晶雲の光散乱特性に与える氷晶の落下姿勢の効果.....10	北大・低温研	西山 直樹
"	"	古川 義純
2. 局地的な収束線と熱的不安定降水.....12	札幌管区气象台	永戸 久喜
"	"	加藤 公司
3. 冬期北陸で観測されたレーダーエコーの形態と偏波レーダーからみた構造.....14	北大院・理	遊馬 芳雄
—1993年12月16～18日のケース—	"	菊地 勝弘
"	"	上田 博
4. オホーツク海の霧と北海道のヤマセ.....16	北海道動気候研究会	大川 隆
5. Eady モデルにおける傾圧波の最適励起.....18	北大院・地球環境	向川 均
福井地方气象台	池田 徹	
京大院・理	赤堀 浩司	
6. TOGA-COARE マナス島レーダー観測 (XI)20	北大院・理	清水 収司
—クラウドクラスター内の層状性領域の構造と変化—	"	上田 博
"	"	木下 温
NOAA	J-COARE マナス島レーダー観測グループ	
"	Warner L. Ecklund	
"	Kenneth S. Gage	
7. Signature of Rainfall from the Convective and Stratiform Components Observed22	北大院・理	Md. Nazrul Islam
by Keifu Maru Radar during the TOGA-COARE IOP	"	上田 博
"	"	勝俣 昌己
"	"	菊地 勝弘
8. 熱帯太平洋上のクラウドクラスターのメソスケール構造について.....24	北大院・理	勝俣 昌己
—地上及び衛星リモートセンシングデータによる事例解析—	"	上田 博
"	"	Md. Nazrul Islam
"	"	高橋 暢宏
9. 西太平洋赤道域の積乱雲に関する二次元数値実験.....26	北大院・理	佐藤 芳昭
—薄い Outflow の形成及びその発達過程—	"	上田 博
"	気象研究所	吉崎 正憲
10. 北極域と南極域の水蒸気循環の比較.....28	北大院・地球環境	山崎 孝治

1. 氷晶雲の光散乱特性に与える 氷晶の落下姿勢の効果

西山直樹・古川義純 (北大・低温研)

1. はじめに

氷晶雲が気候変動に与える影響について多くの報告があるが、その氷晶雲の光散乱特性すらいまだ十分には理解されていない。特に FIRE (First ISCCP Resonal Experiments) などの観測結果は、従来の理論や実験から得られた散乱特性が氷晶雲のアルベドを過少評価することを示している。

この問題を解決するために、雲内でしばしば観測される砲弾集合などの光散乱特性を求める試みはあるが、氷晶の落下姿勢がそろっているという事実があるにも関わらず、その光散乱特性への効果は調べられていない。

そこで、氷晶の落下姿勢の変化が光散乱特性にどのような影響を与えるかを調べるために、人工的に発生させた氷晶雲を用いて、氷晶の落下姿勢を強制的に変えて氷晶雲の光散乱特性を求めた。

2. 実験

実験装置の概略は図 1 に示す。実験ははじめに、雲箱と呼ぶ 1m × 1m × 1m の木箱の中で、超音波加湿器から供給した水滴を、液体窒素によって冷やした金属棒を挿入することで、急冷し氷晶を発生させる。発生した氷晶は雲箱の底に開けた直径 15cm の穴から自重で測定部へと落下する。

測定部では、He-Ne レーザー (波長 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, 10 mW) のビームをレンズ系によって直径 1cm の平行光束にして、氷晶雲に水平照射している。散乱強度測定用のセンサーには Si フォトダイオードを用い、このセンサーを、地面に垂直な面内を自由に回転できる回転台に、スリットを 2 枚通して取りつけた。この測定面は、アルベドに寄与する光散乱が上下方向であるという理由から選んだ。

この回転台を回転させて氷晶雲の光散乱強度を連続測定し、自記記録計を用いて記録した。散乱角度は、回転台に描いた白黒の縞模様を平行光を当てて、その反射光の強弱をフォトダイオードで測定して求めた。散乱角度の定義は図 2 に示すようにレーザービームの入射方向を 0° とし、測定は $0^\circ \sim 180^\circ$ まで行なった。ただし解析からは、強いレーザービームが入射する $0^\circ \sim 10^\circ$ と、センサーの陰になる $160^\circ \sim 180^\circ$ は除いている。測定された散乱強度は、散乱角によって散乱体積が異なることを考慮して

$$f(\theta) = \frac{I(\theta) \sin(\theta)}{I(10^\circ) \sin(10^\circ)}$$

という規格化を行なった。ここで $I(\theta)$ は測定された散乱強度、 θ は散乱角を表す。以下の議論には、全てこの相対散乱関数 $f(\theta)$ を用いる。

また氷晶の落下姿勢は、落下している氷晶雲の中に (レーザービームの脇に) 小型のファンを設置して、そのファンから風を送って氷晶雲を乱すことによって変えることができる。

3. 結果と考察

図 3 は氷晶を自然落下させた場合の相対散乱関数である。これによると、 22° 付近だけでなく、 80° 付近にもピークが現れている。この結果を、従来の水平面で測定された実験結果と比較すると、十分に側方散乱が増加していることがわかる。

空気中を氷晶が落下する場合、その落下姿勢は抵抗が最大になる方向を向くと考えられるので、角板型の結晶の場合には c 軸を鉛直に、角柱型結晶の場合には c 軸を水平に向けていると考えられる。しかし、実験室で得られるようなサイズが小さい粒子では、ランダムな向きのもも含まれる。

従来の水平面での測定では c 軸を鉛直に向けた結晶からの散乱光を主に測っていると考えられるので、 22° のピークや結晶の後方散乱以外の散乱強度は弱くなる。一方、鉛直面で測定した場合、水平面と同様な散乱光に加えて、向きのそろった結晶からの散乱光が含まれるようになる。その結果、鉛直面での測定結果は水平での測定に比べて側方散乱が増加すると考えられる。

図 4 は同じ結果を Takano and Liou (1989) の数値シミュレーションの結果と重ねたものである。この結果は Takano and Liou (1989) の散乱関数とよい一致を示している。したがって、今回得られた散乱関数は従来の実験結果よりも観測結果と合うと予想される。

次に、ファンを用いて風を送ることによって、氷晶の落下姿勢を変えた場合の結果を示す。

図5は自然落下、人肌に感じる程度の風、ほこりを巻き上げる程度の風を送った場合の相対散乱関数をそれぞれ表す。これを見ると、通風が強くなるほど、 $60^\circ \sim 80^\circ$ 付近で散乱関数が強く減少していることがわかる。このことは、氷晶の落下姿勢の変化が相対散乱関数に強く影響を及ぼすことを表している。

風を送って氷晶を乱すことは、氷晶の落下姿勢をランダムに近づけていると考えられる。したがって、氷晶の落下姿勢がランダムになると散乱光の得られる確率が減り、散乱強度が減少したと考えられる。このことは図3で行った考察と一致する。

ライダーによる観測から雲内の氷晶の落下姿勢がそろっていることが報告されている (Sassen et al., 1989)。したがって落下姿勢の効果を考慮して光散乱特性を求めることは重要な課題であるといえる。

4. まとめ

地面に垂直な面内で光散乱強度を測定し、氷晶の落下姿勢を反映した氷晶雲の光散乱特性を測定した。その結果は、従来の水平面で測定された実験結果に比べて十分に側方散乱が増加することを示し、これは従来の実験よりも観測に合うことが予想される。また、氷晶の落下姿勢の変化が氷晶雲の光散乱特性に十分影響することを示した。

したがって、氷晶の落下姿勢の変化が氷晶雲の光散乱特性に与える影響はかなり大きいといえ、今後は氷晶の落下姿勢の効果を取り入れて議論がすすめられることが望まれる。

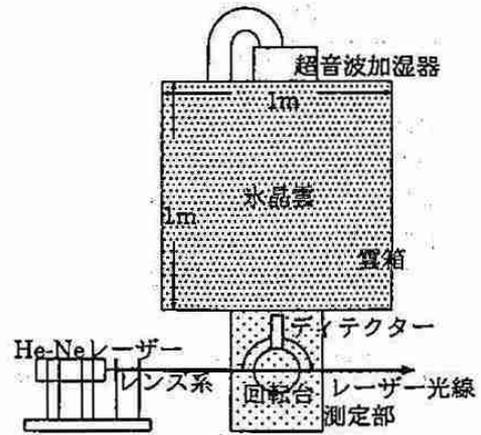


図1: 実験装置概略図

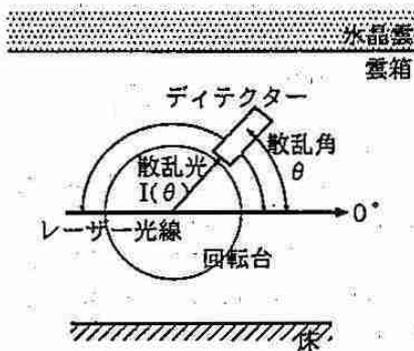


図2: 散乱角の定義

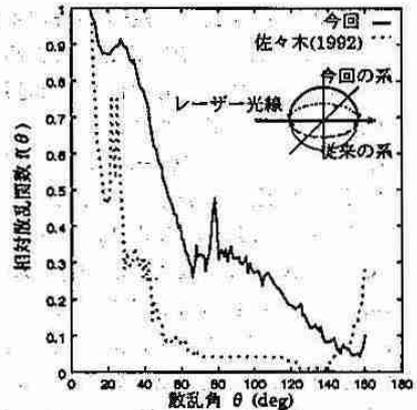


図3: 自然落下の相対散乱関数

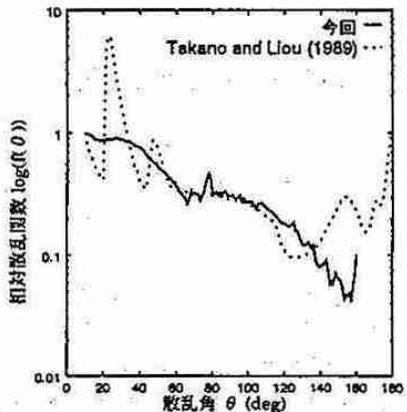


図4: 自然落下の相対散乱関数と理論との比較

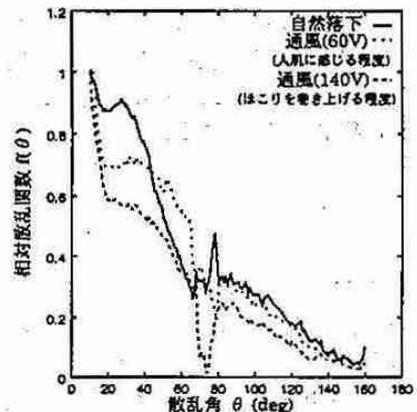


図5: 落下姿勢の変化と相対散乱関数

2. 局地的な収束線と熱的不安定降水

永戸 久喜・加藤 公司 (札幌管区气象台)

1 はじめに

熱的不安定降水とは、熱対流を原因とする対流不安定性の降水のことを指す。この現象は、その時間・空間スケールが小さいことから数値予報モデルなどによる予測が困難である。

今回は、まずこれまで行われた調査や研究で得られた成果を基に、熱的不安定降水の北海道における発生環境を明らかにする。次にその予測に向けて、熱的不安定降水が数値予報モデルでどのように表現されているかを調べた。さらにそれを補うワークシートの作成したのでその検証結果を併せて報告する。

2 熱的不安定降水の発生状況

熱的不安定降水発生の必要条件は、場が潜在不安定な成層であることと何らかのきっかけで下層の空気が自由対流高度まで持ち上げられることである。前者については上層での寒気移流や下層への暖湿気移流など、後者については日射による加熱や熱的低気圧・海陸風などの発生による収束線の形成がその要因となる。現象のスケールについては、降水をもたらす個々の積雲対流は空間・時間スケールがそれぞれ約10km・約1時間のメソスケールであるが、ここで扱うもののほとんどが収束線によって組織化された対流雲群によるものであり、それらは約100km・約数時間のメソβスケールの現象となる。図1に、収束線と降水の発生領域の実況例を示す。

北海道においては、太平洋・日本海・オホーツク海という性質の異なる三つの海に囲まれていることと、大雪山系という中央にある山岳地帯の存在によって収束線が形成され易い。図2(c)に、今夏の降水の発生領域を示す。発生領域は中央の山岳地帯とその周辺に集中していることがわかる。

3 数値予報モデルによる予測

ここでは気象庁のルーチンモデルの中で最も細かい分解能を持つ日本域モデル(JSM)による予測を考える。JSMは水平分解能が日本付近で約25kmであり、 $O(100\text{km})$ のメソβスケールの擾乱が表現可能である。これは熱的低気圧や収束線のスケールであ

り、これらのメソβスケールの擾乱により組織的に発生する熱的不安定降水をJSMで表現できるはずである。図1にJSMで降水をよく予測している例を示す。

しかしながら、中村(1992)はJSMが対流性の降水を出しすぎることを指摘している。そこでは太陽放射量が実際より過剰にでることや、積雲対流のパラメタリゼーションの問題等により、弱い降水が出過ぎたり低い雲で雨を降らせたりするというような問題点が示されている。

今回検証に用いたのは、予報値としては12Z初期値のJSMの雨量予報値(FRR)とJSMガイダンスの格子内平均雨量予報値(MRR)の2種類を、比較すべき実況値としてはレーダーアメダス解析雨量(PRR)の併せて3種類のデータである。格子間隔は20'(約25km格子)で、データは予報期間のT=06-24(03I-21I)まで3時間間隔、データ期間は1994年6-8月である。

次に検証結果を示す。図2(a),(b)はJSMとJSMガイダンスの熱的不安定降水の発生領域の予想図である。実況(図2(c))と比較すると、JSMはおおむね良くあっているといえる。一方、MRRは降水を表現していないか、表現していても領域は非常に狭くなっている。また、前述したような実際に無い降水を表現した例もかなり見られた。

さらに量的な検証結果を示す。図3によると、FRRは最大雨量の平均値だけをみればPRRに近い値となっている。しかし相関係数は0.35と悪く、このままではオーダーが合っているという程度である。MRRは量的にもかなり少なく見積もっている。

4 ワークシートによる予測

上記したような数値予報モデルによる予測の不備を補うために、ワークシートによる予測を試みた。ワークシートとは、あるメソ現象についてこれまで理解されている観測事実や物理法則に基づいて理解されている特質から、その現象を予測する際の客観的な判断基準を定め、それらを実際の予報作業に使えるように流れ図的に示したものである。

ここではワークシートの詳しい内容は述べないが、判断基準となる物理量や特質は、発生の予測につい

ては JSM での予想の有無や大気安定度・下層の湿りなど、発生領域の予測については北海道の中心付近の気圧傾度力及び総観規模の気圧配置、量的予測については札幌における JSM の予報値及び高層観測値から計算した各種不安定要素などである。

表1にワークシートの検証結果を示す。特徴的なのは、モデルの出しすぎを大幅に修正し発生予測の精度を向上させた点である。発生領域予測についてもモデルとの組み合わせにより支庁単位の予測を可能にしている。量的予測はまだ不完全で特に警報クラスが良くない。

5 まとめと課題

熱的不安定降水についてその発生と降水量の予測を数値予報モデルとワークシートにより試みた。発生予測についてはモデルの出しすぎをワークシートが大幅に修正し予測精度を向上させたが、降水量の予測はいずれの方法によっても不完全である。

今後の課題は量的予測となるが、JSM の雨量予報値を基にした熱的不安定降水用ガイダンスの作成に取り組む予定である。

参考文献

中村 誠臣, 1992: 雷雨, 気象庁平成4年度数値予報テキスト, pp53-59.

1. 発生の予測

発生予想の比較				
	事例数	スレトスコア	空振り	見逃し
JSM	45	0.69	31%	0%
ワークシート	32	0.91	9%	0%

2. 発生領域の予測

発生領域の予想の支庁別比較				
支庁名	事例数	スレトスコア	空振り	見逃し
上川支庁	24	0.54	33%	13%
網走支庁	22	0.59	27%	14%
十勝支庁	21	0.62	29%	10%

3. 量的予測

注意報クラス以上 (20mm/h 以上) の予測				
	事例数	スレトスコア	空振り	見逃し
JSM の GPV	50	0.66	29%	5%
高層実況値	50	0.81	19%	0%

警報クラス (40mm/h 以上) の予測				
	事例数	スレトスコア	空振り	見逃し
JSM の GPV	15	0.40	20%	40%
高層実況値	12	0.50	25%	25%

表1:ワークシートの検証結果

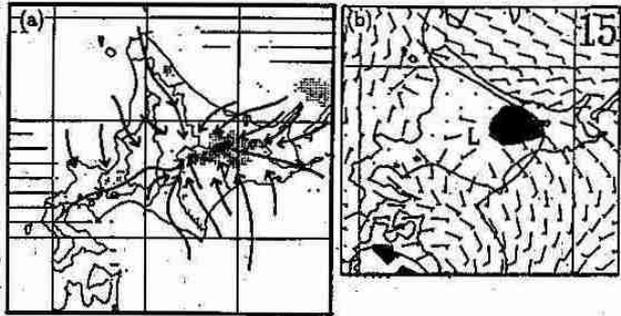


図1: 収束線の位置と降水発生の実況例及びJSMの予想例。1994年8月10日の事例を示す。(a)15時のレーダー-アメダス合成図。矢印はアメダスによる15時の流線を示す。(b)8月9日21時初期値のJSM18時間予想図。矢羽・実線はそれぞれ地上風・地上気圧を、ハッチされた部分は14-15時の1時間雨量が1mm未満の領域を示す。

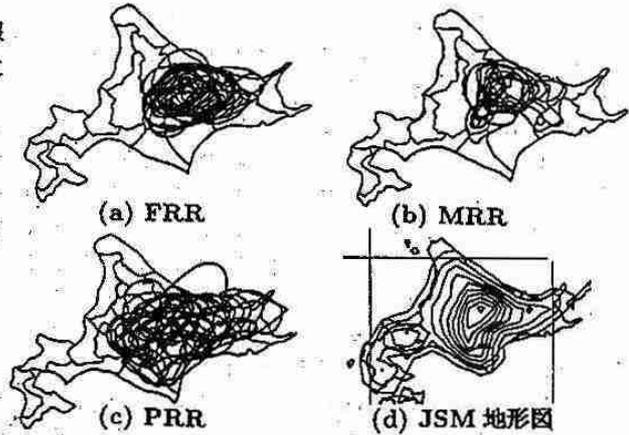


図2: 降水の発生領域。黒線は降水の発生または予測領域で、データ期間の全22事例を重ね書きした。

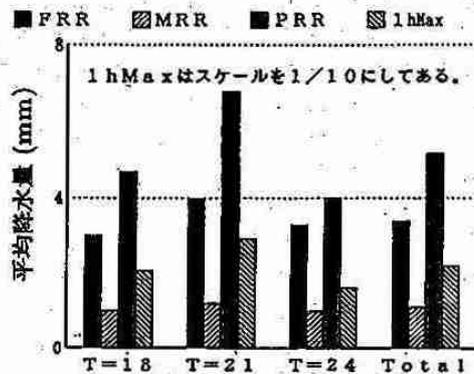


図3: 各種降水量の最大値の時別及び合計平均。データ期間の全22事例を平均した。

3. 冬期北陸で観測されたレーダーエコーの形態と偏波レーダーからみた構造

— 1993年12月16～18日のケース —

遊馬芳雄・菊地勝弘・上田 博(北大・理)

1. はじめに レーダーや気象衛星による観測によると冬期季節風時にしばしば日本海海上で組織化された降水雲が観測される。この降水雲の組織化には周囲の風の場合が重要な役割を果たしていることが知られている。降水雲の組織化の違いによって、雲内の降水粒子の分布、すなわち、降水雲の内部構造に違いが現れ、降水雲の電氣的活動にも違いが生じることが考えられる。

1993年11月下旬から12月下旬まで、福井県三方郡美浜町に北大理学部偏波ドップラーレーダーを設置し、冬期日本海海上での降水雲のレーダー観測を行った。観測期間中、12月16日から18日にかけて一連の組織化された降水雲をレーダー観測することができた。GMS画像より、日本海上の場を支配している低気圧性循環が日本海を北上し、宗谷海峡西方で急激に発達し、オホーツク海海上で強い循環を維持しながら停滞していた。そこで、この低気圧性循環の中心位置と観測されたレーダーエコーを関連させて解析を行い、降水雲の組織化と偏波レーダーから見たその内部構造の特徴的な違いについて述べる。

2. 観測及び解析結果 GMSの赤外画像から、12月16日21:31～18日12:31まで3時間毎に低気圧性循環の中心位置をプロットしたのが図1である。前線を伴う弱い低気圧性循環が16日21時から17日6時まで日本海北部を東進し、その後、北海道西岸沖に沿って北東進した。この循環は12時に宗谷海峡西方で急激に発達し、しばらく停滞した後、21時以降はオホーツク海海上でほぼ停滞していた。

レーダーで観測されたエコーは図2のような進行方向に対して直角に並んだいわゆるTモードの対流性エコーが17日2時から16時の間観測され、その後、図3のようなオープンセル型対流のエコーが19時から18日18時まで観測された。Tモードのエコーが観測されたのは低気圧性循環が日本海北部を通過している時期に対応していた。また、オープンセル型のエコーは低気圧性の循環がオホーツク海上に停滞し、日本海上は季節風吹き出しの場において、レーダーサイトの美浜付近は中国大陸と朝鮮半島からの吹き出しの合流部に当たり、GMS画像からも日本海南部にオープンセル型の対流が確認された。

図2、3において、実線で示した対流性エコーの中心を通る方位角約300°のRH I画面のレーダー反射因子(Z)と偏波反射因子差($Z_{DR}=10\log(Z_{HH}/Z_{VV})$)を高さ毎に平均しプロットしたのが図4、5である。図4がTモード型のエコーの場合、図5がオープンセル型エコーの場合である。 Z は双方とも最大で25dBZ程度でありほぼ同じ位の強さを示している。一方、 Z_{DR} は融解層(高度約1km)以下では1.2～1.5dBで雨滴の存在を示唆している。また、雲頂付近では1dBを越えていて、 Z も小さく樹枝状結晶や板状結晶のような水平に偏平した雪結晶の存在を示している。 Z の強い高度1～2kmを比較するとTモード型のエコーの場合 Z_{DR} は0.5dB程度で霰粒子の存在を示しているのに対し、オープンセル型のエコーの場合は1.0dB程度で雪片の様な水平に偏平な大きな粒子の存在を示唆している。この内部構造の違いは電氣的活動度の違いにも反映されていて、大阪大学のグループによる岳山に設置された地上電場計より、Tモード型の対流の方がオープンセル型の場合よりも電氣的活動が活発であることが明らかになった。

3. まとめ 冬期季節風時の日本海沿岸の福井県美浜町で観測されたレーダーエコーの形態をGMS赤外画像から求めた低気圧性循環の位置と関連づけて解析を行なった。観測期間中、Tモードの対流性エコーとオープンセル型の対流性エコーが観測され、降水雲の組織化は周囲の風の場合と密接なかわり合いがあり、周囲の風の場合は日本海上の総観場を支配する低気圧性循環と関連していることがわかった。また、偏波レーダーから2つの対流性降水雲の雲内の粒子分布の違いが示唆され、電氣的活動度にも違いがあることが示された。

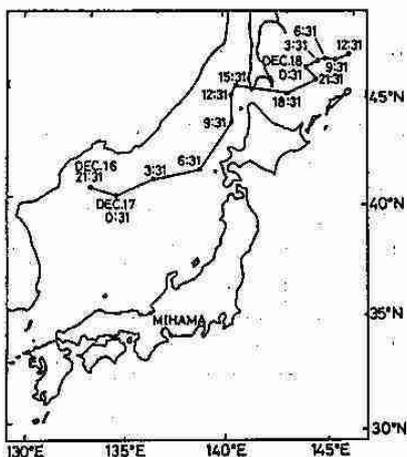


図 1 12月16日21:31から18日12:31までの3時間毎の低気圧性循環の中心位置。

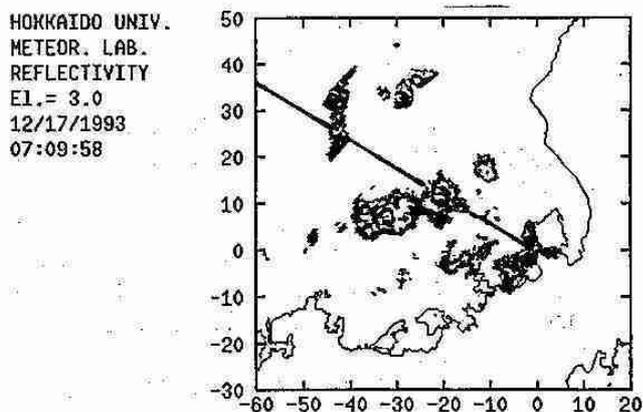


図 2 12月17日7時9分、仰角3.0°のPPIレーダーエコー。

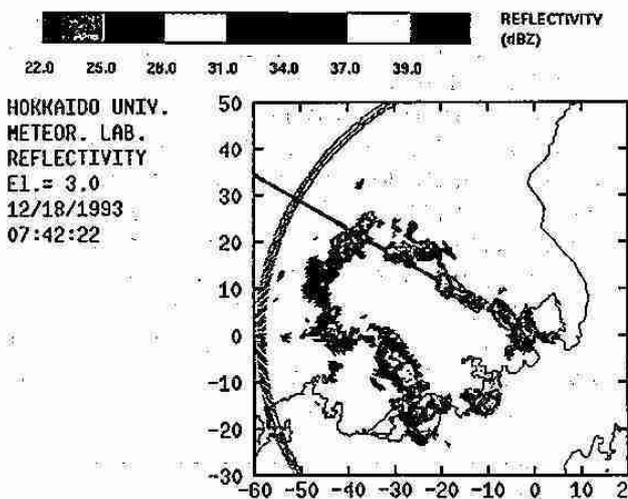


図 3 12月18日7時42分、仰角3.0°のPPIレーダーエコー。

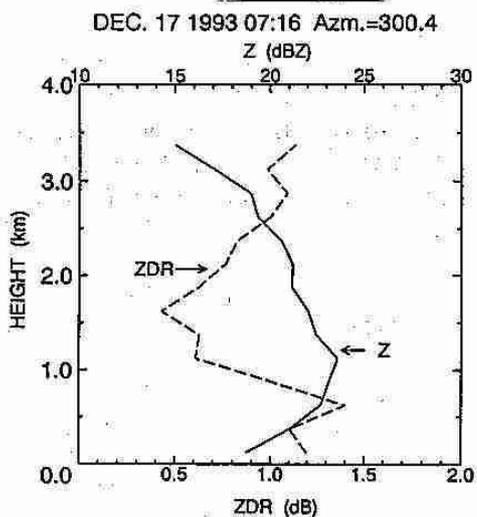


図 4 図 2 の実線で示した方位角の Z と Z_{DR} の RH I 画像の高さ毎の平均値。

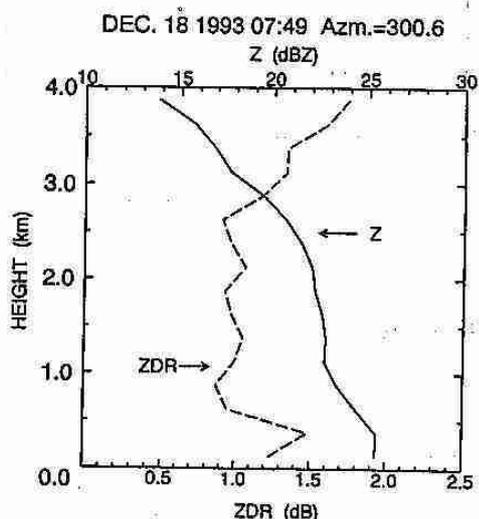


図 5 図 3 の実線で示した方位角の Z と Z_{DR} の RH I 画像の高さ毎の平均値。

4. オホーツク海の霧と北海道のヤマセ

大川 隆 (北海道動気候研究協会)

1. はじめに

筆者は気象庁現役時代、オホーツク海高気圧の研究をライフワークとして行ってきたが、たえず気掛かりな2つのことがあった。1つは梅雨期にこの高気圧が出現したとき、この海域の中央部では天気現象がどのような比率で出現しているのかということ、他の1つはオホーツク海高気圧からの冷湿な気流が北海道に吹きつけたとき(これを便宜的に北海道のヤマセといわせていただく。)北海道各沿岸部の天気はどのような比率で出現しているのかということである。今回、機会があってこれらを取りまとめたので報告する。

2. オホーツク海中央部の海霧

1971~78年の8年間の5月の気象庁啓風丸の観測資料からオホーツク海高気圧圏内の50° N, 150° E近傍の3時間毎の観測値を抽出・整理し、図1を得た。

図1の下段には全資料数226に対する各天気現象の出現率が示されているが、霧(視程1km未満)と共存した場合は両方に数えたため、各出現率の合計は100%以上となっている。これによると、オホーツク海高気圧圏内の天気は、霧40%、曇41%と多く、次いで晴または快晴が13%で、霧雨は4%にとどまっている。すなわち、オホーツク海中央部の天気は霧と曇から変わったとみられる曇を合わせると8割強となり、霧雨は極めて少ないものとなっている。

図1によると、霧のほとんどは水・気温差(海上気温-海面水温)が負の場合に出現している。この海域での海霧の発生は、海面付近の湿潤な気塊が海面で加熱されての対流上昇により発生し、霧層

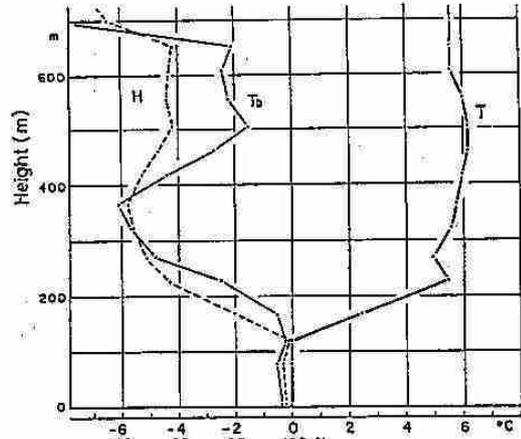


図2 オホーツク海中央部(50° N, 150° E)でのU-Dゾンデによる低層観測。1972年5月28日14時啓風丸観測。

は上の方から生成されると考えられる。しかし、上昇流に応じての下降流も発生するので、海面上のレベルまで霧が急速に形成されるためには低い逆転層があると都合がよい。

図2はかつて啓風丸によるオホーツク海中央部でのU-Dゾンデによる低層観測である。高度120mから230mにかけて強い逆転層があり、120m以下の接地層は飽和に近い状態となっていた。この時期のオホーツク海の流水融解による寒冷海面でこの接地層はかん養されるものである。

オホーツク海中央部の海霧は、その発生機構からは蒸発混合霧の部類に入るが、他海域と異なる主要因は極めて高度の低いかつ強い逆転層にあるわけである。

3. 北海道のヤマセ

図3はオホーツク海高気圧から冷気が本道に吹きつけたときの道内沿岸6気象官署の天気の出現率をみたものである。用いた資料は図示した最近の5冷夏年の5月30日から8月15日までの78日間のうちヤマセとなった日の1日4回(3時、9時、15時、21時)の観測値である。ここでは、ヤマセの悪天のみを抽出することが目的であるため、晴または快晴と視程20km以上の曇と雨の資料を除外した。かくして抽出された各官署別のヤマセ資料数を図の官署名の右下に示してある。

ヤマセ資料数の大小はヤマセによる悪天出現の度合いを示すものである。根室が387で最大で、次いで釧路と室蘭が約340となっている。網走が意外に少なく213にとどまっている。各地点のヤマセ資料数に対する天気の出現率をみたのが図3の棒グラフである。霧と共存する分は両方に数えてある。各地点とも曇が最も多くなっているほかは、網走、釧路で霧雨が多く、室蘭、函館、稚内では霧雨と雨が多くなっている。根室は異質で、霧と霧雨が多発している。

1993年5月下旬のオホーツク海高気圧出現時の網走東方沖での函館海洋気象台高風丸による高層観測例を図4に示す。この時期、本道のオホーツク海沿岸は宗谷暖流のため海面水温は11℃と高くなっ

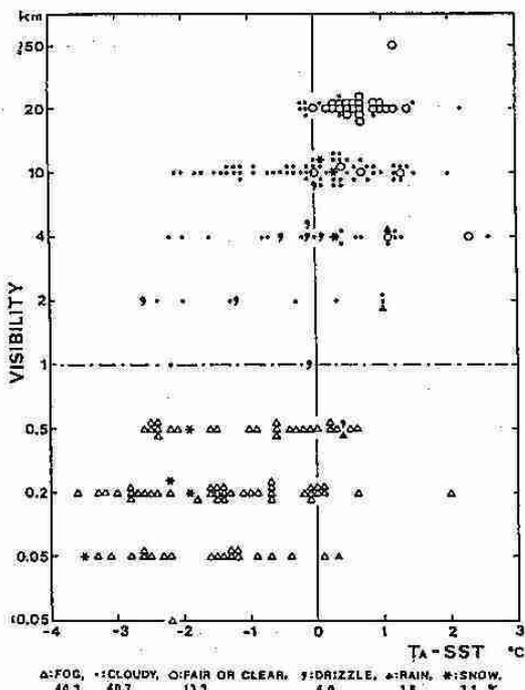


図1 5月のオホーツク海高気圧圏内の50° N, 150° E近傍での気温・海面水温差と視程、天気の関係。

ている。このため図2にみた強い接地逆転層は高水温で励起された対流現象で破壊され、風のエクマンスパイラルで分かるように高度1000mまでの層は十分に攪拌された混合層を形成している。すなわち、オホーツク海中央部で発生した海霧は本道沿岸に接近するに及んで組織的に上昇させられ、霧雨へと変質するわけである。

釧路沿岸部は親潮の流れているところである。にもかかわらず釧路で霧雨が多発するのはなぜであろうか。その原因は分からない。ヤマセ発現時には北海道を含む緯度帯は北の寒気と南の高気圧の間の潜在的な前線帯となっており、対流圏中層で湿潤層が形成されやすいことが寄与していることが考えられる。

室蘭を含む胆振中部ではヤマセ時に霧雨や雨が多発し雨量も多くなる。これは筆者(1991)*の解説にあるように、南東風系で侵入する海霧がオロフレ山系によって地形上昇を受けることによるものである。継続的な上昇流の場が霧粒を雨滴へと成長させるわけである。

函館を含む渡島半島南部や日高山脈南東側でもヤマセ時に霧雨や雨が多くなり、稚内でも弱いながらその傾向がみられる。これらの原因の1つは海峡による気流の水平収束が持続的な上昇流場を形成することにあるが、ヤマセ下層寒気の日高山脈や渡島半島によるシールド効果も寄与していると考えられる。

さて、ヤマセ時の根室の天気は他の5地点とは異なって霧が多発している。なぜであろうか。高風丸の海上気象観測資料から1970~83年の主として7月のヤマセ時のウルフ島付近の天気94例を抽出して、天気別出現率を求めた。曇67%、霧23%、霧雨9%、晴または快晴4%、雨2%となっている。すなわち、千島近海では霧の出現は根室と同等に多いが、霧雨は極めて少ない(図5)。

千島列島沿いの海面水温は潮汐作用による湧昇で夏でも6~8℃の強い低温となっている。この寒冷海水面が背の低い、かつ強い接地逆転層を形成して、海霧の発生をもたらす、その霧がオホーツク海高気圧による偏東風で根室に流入するのであろう。根室の霧雨の多発の原因については釧路と同様によく分からない。

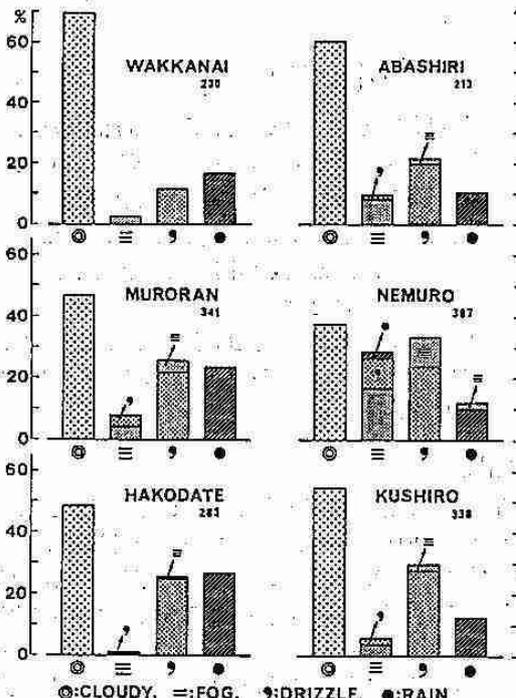


図3 ヤマセのときの北海道各沿岸部の天気の出現率。
83, 86, 88, 92, 93の5冷夏年の1日4回の資料による。

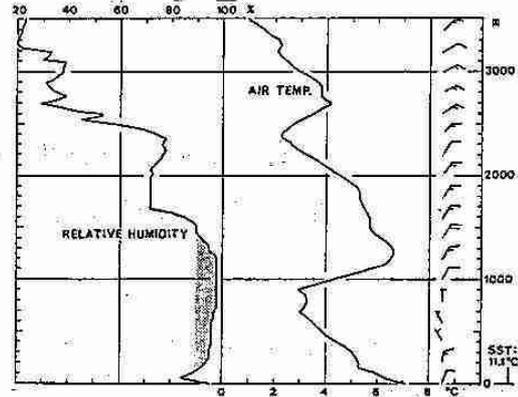


図4 1993年6月24日3時高風丸観測による網走沖(44°00' N, 144°23' E)の高層状態曲線。

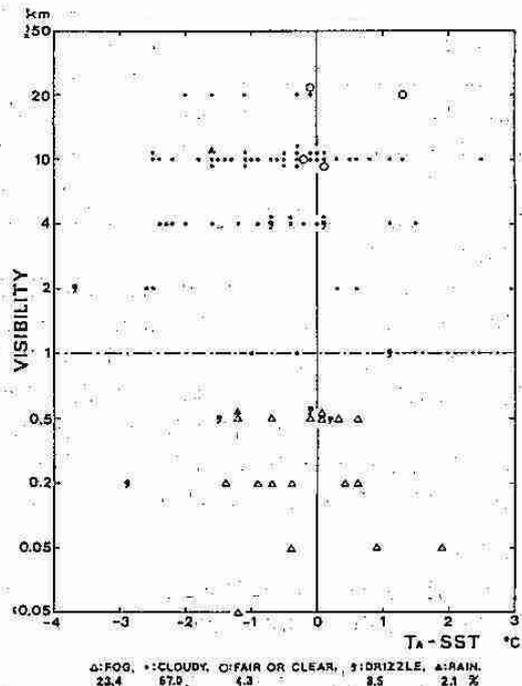


図5 主として7月のオホーツク海高気圧圏内、ウルフ島付近での気温・海面水温差と視程、天気の関係。
総資料数:94, 高風丸観測による。

4. 今後の課題

三陸沿岸の気象・海洋の関係者に聞いたところ、三陸のヤマセは風が強く、陸上や湾内では霧となりやすいが、霧雨や雨となることはまれであるという。衛星観測によるヤマセ雲解析の2つの研究、すなわち雲粒解析(早坂ほか、1994)と海上風解析(川村(宏)、1994)と今回の筆者の研究を勘案してみると、北海道のヤマセは三陸沿岸のそれとはかなり異なることが分かってきた。この故に筆者は北海道のヤマセを「エゾヤマセ」と称して、区別することを提案する次第である。本道太平洋沿岸の霧雨の多発現象とともに、今後この方面の一層の研究、解明が望まれる。

* 大川 隆, 1991: 北海道胆振中部の豪雨, 天気, 38, 649-653.

5. Eady モデルにおける傾圧波の最適励起

向川 均 (北大・地球環境)・池田 徹 (福井地台)・赤堀 浩司 (京大・理)

1. はじめに

近年, 世界の各予報センターでは, 数値予報誤差の予測や力学的中期 (1 カ月) 予報を実用化するため, 数値予報モデルを多数の初期値から時間積分するアンサンブル予報の開発が盛んに行われている。このアンサンブル予報では, 適当な初期値とその数をどのように選択するかが問題であり, 最近, その有力な解法の一つとして, ある有限時間で最大に発達する最適励起擾乱に対応する初期擾乱を数値予報モデルの初期値に加える手法が提出されている (Mureau et al., 1993)。この手法により, ある予報期間で最も拡大しやすい予報誤差のパターンとその大きさを, 線形論の範囲では特定することができるので, 予報誤差の予測に有用な情報を与えることができる。

ところで, この最適励起擾乱の特徴は, 古典的な不安定論から求められる不安定モード解とは異なり, 擾乱の発達に伴いその空間構造が変化し, その振幅も指数関数的には成長しないことにある。従って, 有限時間では, 不安定モード解よりも早く発達する擾乱の存在が可能となる (Farrell, 1989)。ここでは, Eady モデルにおける最適励起問題を考え, 有限時間での擾乱の発達特性について詳しく調べる。

2. モデル

次の無次元化された Eady モデルを考える (無次元化パラメータは対流圏での典型的な値を仮定する):

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + U_0 \frac{\partial}{\partial x}\right) \left(\nabla^2 \psi + \frac{1}{S} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}\right) = 0. \quad (1)$$

ここで, $U_0 = \lambda z$ ($\lambda = \text{一定}$) は基本流, $\psi(x, y, z, t)$ は擾乱の流線関数, S ($= \text{一定}$) は鉛直安定度, $\nabla^2 (= \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2)$ は水平ラプラシアンである。また, 鉛直方向 $z = 0, 1$ 及び, 南北方向 $y = \pm 1$ に剛体壁を仮定する。さらに, 式 (1) を鉛直方向に差分化し, N 層モデルを作成する。

式 (1) は, 線形方程式なので, 各層の流線関数からなる N 次元ベクトル $\psi(x, y, t) = (\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N)^T$ (T は転置を表す) は,

$$\begin{aligned} \psi(x, y, t) &= \text{Re} \left[\sum_{i=1}^N \alpha^i \phi^i \exp ik(x - c^i t) \right] \cos l_n y \\ &= (\psi_c(t) \cos kx + \psi_s(t) \sin kx) \cos l_n y, \end{aligned} \quad (2)$$

とノーマルモード ϕ^i の和で記述できる。ここで, α^i は係数, k, c^i は擾乱の東西波数と位相速度, $l_n = (n + 1/2)\pi$ で n は非負の整数である。以下では最も不安定なモードを仮定し,

$n = 0$ とおく。

次に, 式 (2) を用いると, 時刻 τ での擾乱を表現する $2N$ 次元実ベクトル

$$y(\tau) = \begin{pmatrix} \psi_c(\tau) \\ \psi_s(\tau) \end{pmatrix} \quad (3)$$

は, 初期擾乱 $y(0)$ を用いて,

$$y(\tau) = M(\tau)y(0), \quad (4)$$

と表記することができる。ここで, $M(\tau)$ は, 固有値 c^i , 固有ベクトル ϕ^i で記述される $2N \times 2N$ の実行列である。

ここでは, 最適励起擾乱として, 時刻 τ における擾乱の振幅に相当する y の L_2 ノルム:

$$\|y(\tau)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^{2N} y_i^2}, \quad (5)$$

を最大にする擾乱を求める。そのため, 時刻 $t = 0$ に

$$y^T(0)y(0) = 1, \quad (6)$$

で与えられる半径 1 の $2N$ 次元球殻上に等方的に分布する初期擾乱の時間発展を考える。式 (4) を用いると, この球殻は時刻 τ では,

$$y^T(\tau) [M(\tau)M^T(\tau)]^{-1} y(\tau) = 1, \quad (7)$$

と $2N$ 次元楕円体に変換される。対称行列 $M(\tau)M^T(\tau)$ の固有値 Γ_i の平方根と固有ベクトル ζ_i は, それぞれ楕円の主軸長とその方向を表すので, 最大固有値 Γ_1 に対応する固有ベクトル ζ_1 が最適励起擾乱の鉛直構造を表現し, その振幅は $\Gamma_1^{1/2}$ で与えられる。また, 有限時間 τ での最適励起擾乱の成長率は $\ln \Gamma_1 / (2\tau)$ と定義できる。

一方, 時刻 τ での最適励起擾乱に対応する初期擾乱は, 対称行列 $M^T(\tau)M(\tau)$ の最大固有値 Γ_1 を持つ固有ベクトル f_1 で与えられる。

3. 結果

以下では, 最適励起擾乱の成長率の収束性を考慮して, 50 層モデルを用いた結果を示す。まず, 図 1 に発達評価時間 $\tau = 3$ (約 7 日) で見積もった, 最適励起擾乱の成長率を示す。不安定波は, 東西波数 $k \leq 4.53$ の領域にのみ存在するが, 擾乱は中立領域でも発達することがわかる。また, 最適励起擾乱の成長率は不安定波の成長率よりも大きく, 最大

成長率をとる擾乱の波数は、基本流の鉛直シア (λ) が小さくなるほど、高波数側にシフトすることがわかる。

線形的に不安定な領域では、最適励起擾乱は、不安定モードと同様にはほぼ指数関数的に成長する。時間τが増加するに従い、その鉛直構造は不安定モードのそれに漸近する。また、対応する初期擾乱は不安定モードの随伴モードとなる。しかしながら、時間τが小さいときには (τ ≤ 3 日)、最適励起擾乱の等位相線の傾きは不安定モードに比べより水平に近く、不安定モードは擾乱の初期の発達には関与しないことが示される。

一方、図 2 より、線形的に中立な領域における最適励起擾乱は、 $C\tau^2 + 1$ (Cは定数) のように代数的に成長することがわかる。また、最適励起擾乱に対応する初期擾乱の構造は、鉛直シアーに対し傾いた平面波 $\psi = A \sin(kx + mz)$ ($m > 0$) でよく近似できることがわかる (図 3 左)。その等位相線の傾きは時間τの増加に比例して水平に近づき、擾乱の鉛直スケールは逆比例して減少する。初期擾乱の発達に伴い、その等位相線は次第に鉛直に立ち、最適励起擾乱ではほぼ順圧的な構造となる (図 3 右)。この構造は、位相速度の異なる特異点を持たない2つの中立モードにより主として決定されており、最大発達した後の振幅の周期的変動 (図 2 の破線) は、これらのモード間の干渉により説明できる。

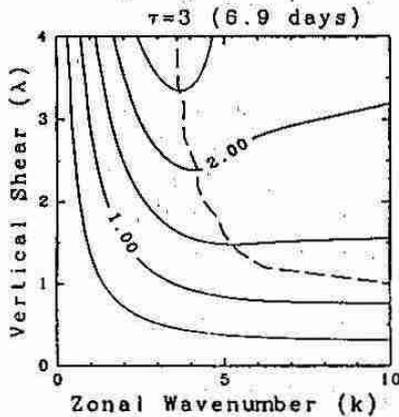


図 1 50 層モデルにおける最適励起擾乱の発達率 (τ = 3; 約 7 日)。横軸は擾乱の東西波数 k, 縦軸は基本流の鉛直シア λ。破線は、各 λ に対し最大成長率を与える東西波数を示す。

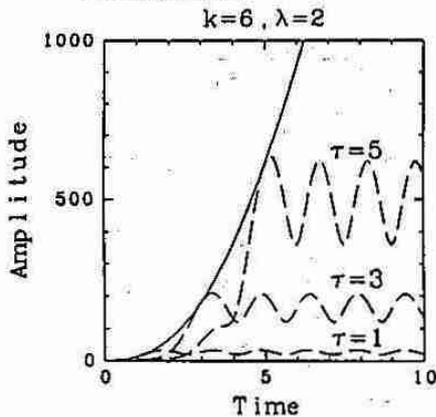


図 2 中立領域における最適励起擾乱の最大振幅 ||v(τ)|| の時間変化 [k = 6 (東西波長; 約 2000 km), λ = 2 (鉛直シアー; 2 m/s/km)] (実線)。破線は、各発達評価時間 (τ = 1, 3, 5) に対する最適励起擾乱の振幅の時間変化。

4. 考察

流体内部では擾乱の渦位が保存されることを用いると、中立領域での最適励起擾乱の発達特性は、 $O\pi$ のメカニズムで定量的にうまく理解できることが示される。このことは、擾乱の発達にとっては、鉛直シアーを持つ基本流の移流効果による擾乱の位相の立ち上がりが本質的であることを示している。また、成長した最適励起擾乱の構造は、各モード φ の射影性 (projectability) を考慮すると、うまく説明することができる。

5. まとめ

擾乱発達の評価時間が長くなるほど、初期擾乱の鉛直スケールは小さくなるため、最適励起問題を扱うには空間分解能の高いモデルが必要となる。従って、数値予報モデルの予報誤差予測を行うには、数値予報モデルと同程度の空間解像度を持つモデルが必要であることが示唆される。

また、今後の研究課題として、最適励起擾乱に対する放射や拡散などによる消散の効果や、擾乱発達に伴う非線形効果の評価などが残されている。

引用文献

Farrell, B. F., 1989: Optimal excitation of baroclinic waves. *J. Atmos. Sci.*, 46, 1193-1206.
Mureau, R., F. Molteni, and T. N. Palmer, 1993: Ensemble prediction using dynamically conditioned perturbations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 119, 299-323.

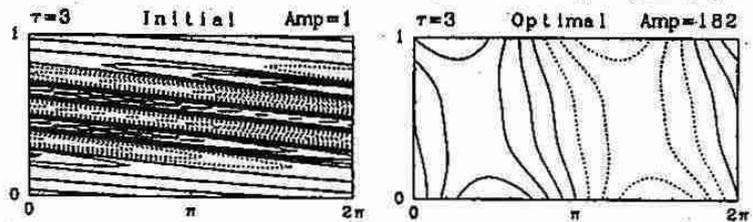


図 3 中立領域における最適励起擾乱の流線関数場 (y = 0) [k = 6, λ = 2, τ = 3]。横軸は、東西方向 (1 波長), 縦軸は鉛直方向を示す。左図は初期擾乱, 右図は最適励起擾乱。

6. TOGA-COARE マヌス島レーダー観測 (XI)

—クラウドクラスター内の層状性領域の構造と変化—

清水収司・上田博・木下温 (北大・理) ・ J-COARE マヌス島レーダー観測グループ

Warner L. Ecklund · Kenneth S. Gage (NOAA, Aeronomy Laboratory)

<はじめに> これまで熱帯における観測・解析例は、積乱雲等の対流性降水に対するものが中心であったが、その出現頻度及び降水量の観点から層状性降水についても解析を行うことが重要である。そこで本報告ではクラウドクラスター内の層状性領域の構造と変化に注目して解析を行ったものである。

<観測・解析方法> パプア・ニューギニア・マヌス島に設置した北大理学部ドップラーレーダーデータを用いて、VAD・2仰角VAD解析を行い、レーダーサイト上空の風及び発散量の鉛直プロファイルを求めるのと同時に、NOAAのISS(Integrated Sounding System)・ウィンドプロファイラーにより上空の風・温度の場を求め、それぞれの時系列を作成した。さらに北大理学部及び低温研のX-band ドップラーレーダーを用いて dual-Doppler 解析を行い、3次元の風の場を求めた。

<結果> 1992年12月14日22LST頃からマヌス島の北東から徐々に層状のエコーが移動してきた。これはGMS画像で見ると、半径約200kmのクラウドクラスターに対応していたものである。このクラスターはこの22LST付近が最盛期で、この後マヌス島付近に広がり、15日02LST以降急速に衰退した(図1)。図2に観測点の位置と14日23LSTの風の場を示す。高度1kmでは北西風、4kmでは北風が卓越していた。また全体的には層状であるが、レーダーサイトの北側には特に中層で対流的な部分が見られた。

図3に(a)ウィンドプロファイラー(b)理学部レーダーVAD解析による14日22LST~15日06LSTの水平風の鉛直プロファイルの時系列を示す。共通する特徴として、下層で北西風、中・上層で北風が卓越していた。この両層間のシアラインは全体的に見ると徐々に高度が低下していた。その中で15日00LST付近からシアラインが上昇し、03LST付近で急激に下降していた。相違点としては、西側にある理学部レーダーの方が約45分早く変化が起きていることである。これは層状域の中で北西から移動してくるより小さいスケールの対流雲によるものと考えられる。このことは理学部レーダー上空を見た低温研レーダーのPPI画像でも北西から移動してくるライン状エコーとして認められた。

図4に2仰角VAD解析による発散量の鉛直プロファイルの時系列を示す。シアラインが上昇するのに対応して、高度3km付近で収束量が増加していた。シアラインの高度がピークになるとき全高度で弱い収束に、その急降下の後には逆に下層で発散、上層で収束となっていた。このことからレーダーの観測範囲内で中層での収束によって対流が発達していると考えられる。

以上をまとめた概念図を図5に示す。北東から広がる衰退期にあるクラウドクラスターの層状域の中で、対流雲が北西からやってくることにより、中層における収束が強まり、新たに上昇流が発生する。このことにより解析領域内のシステムは再度発達すると考えられる。この対流雲が消滅後、システムは本来の衰退期に戻り、急速に消滅していくと考えられる。

<まとめ> 衰退期にあるクラウドクラスターの層状域の中で、対流雲が発達することにより、解析領域内のシステムが維持されることがわかった。またこの対流雲の発達には中層における収束が寄与していた。以上のことは熱帯の層状域における一形態であると考えられる。

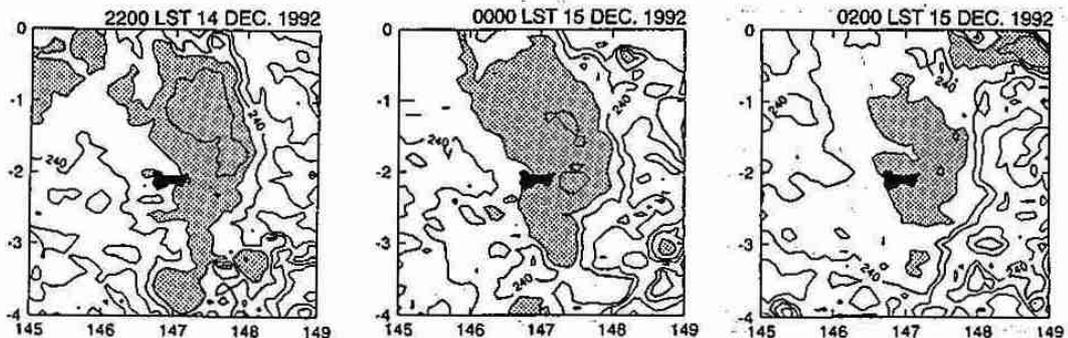


図1 GMS-IRの T_{BB} 。点描は220°K以下を示す。黒い領域はマヌス島を示す。

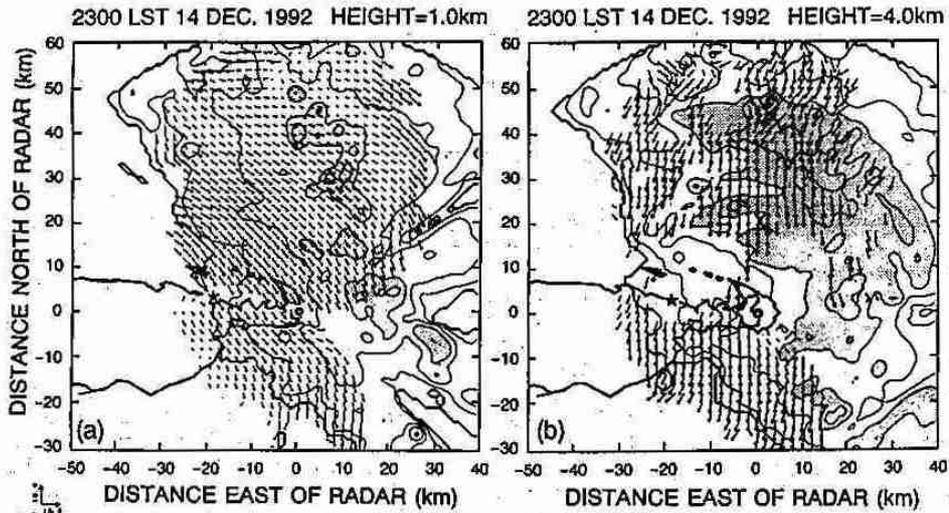


図2 dual-doppler 解析から求めた高度(a)1km(b)4kmの風速場。点描部は反射強度 30dBZ 以上の領域。
★印は理学部レーダー、◎印は低温研レーダー及びISSの位置を示す。

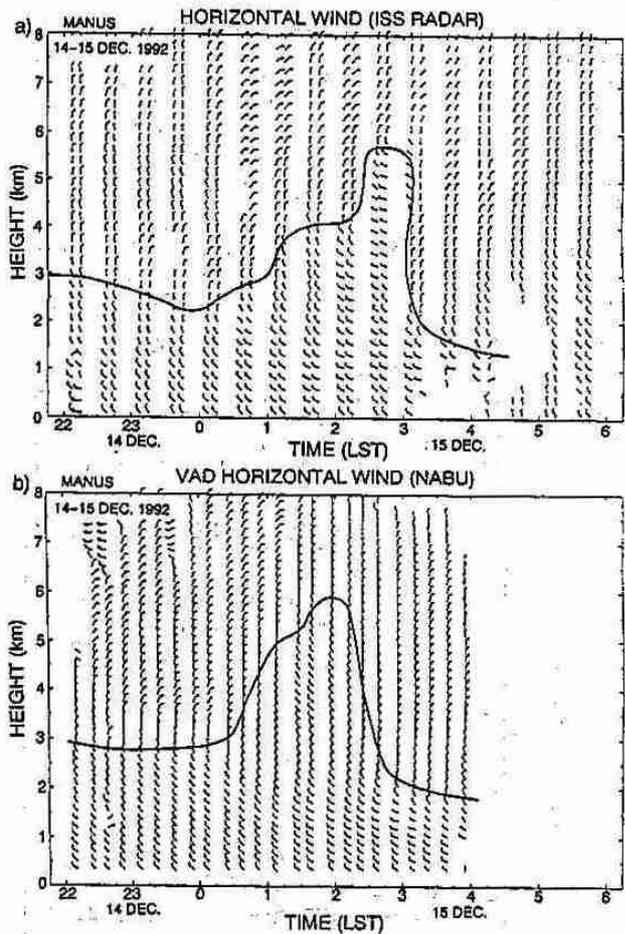


図3 (a)ウィンドプロファイラー(b)VADによる鉛直時間断面。実線は北風と北西風のシアラインを示す。

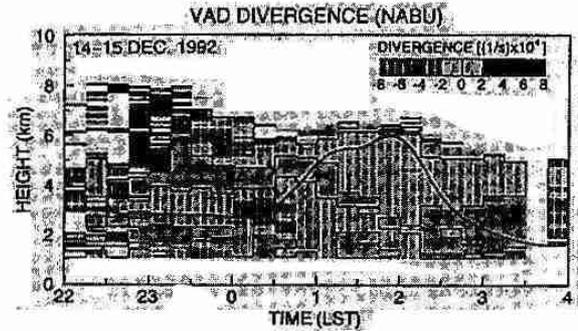


図4 2仰角VAD法による発散量の鉛直時間断面。

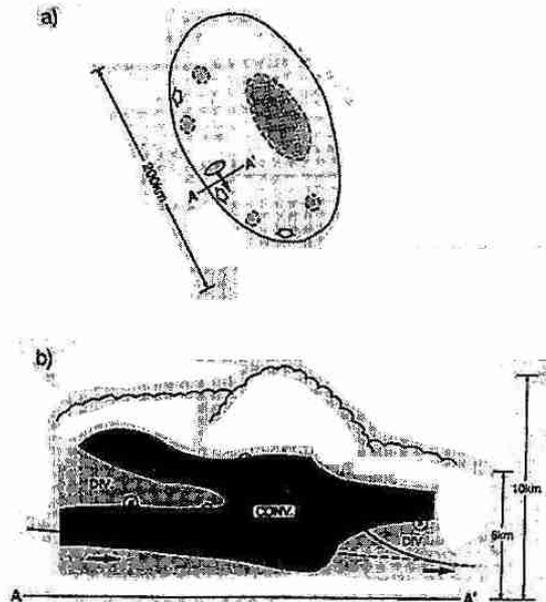


図5 (a)クラウドクラスターの水平概念図。点描部は対流的な領域を示す。(b)解析領域内の鉛直概念図。

7. Signature of Rainfall from the Convective and Stratiform Components Observed by KEIFU MARU radar during the TOGA-COARE IOP

Md. Nazrul Islam, Hiroshi Uyeda, Masaki Katsumata and Katsuhiko Kikuchi
(Graduate School of Sci., Hokkaido Univ.)

<Introduction> To understand the characteristics of the tropical cloud cluster in the TOGA-COARE domain, cloud development, sub-structural(convective & stratiform) features, estimation of rainfall etc. are essential. In order to reveal such characteristics we used KEIFU MARU radar data, GMS-IR data, Convective Stratiform Technique(CST), and analyzed behavior of Sub-System during the TOGA-COARE IOP.

<Data> Radar(500km x 500km) data(2.5 km mesh) was collected by KEIFU MARU during the TOGA-COARE IOP. We preferred the data in PPI(El.=0.0°) scans on Nov.12, 1992. We also utilized the hourly brightness temperature(T_{bb}) data(0.1°mesh) of GMS-IR in CD-ROM.

<Procedure> Analysis of radar data for a Sub-System(SS) was discussed by Islam et al.(1994) in Spring Conf., JMS. In order to analyze satellite data, we followed the CST algorithm modified by Goldenberg et al.(1990) for WMONEX.

<Results & Discussion> Figure 1 shows the area covered by the SS($7 \times 10^3 \text{ km}^2$) and total echo($56 \times 10^3 \text{ km}^2$). We see that the fluctuation of total echo area is due to the existence of developing, mature and dissipating echoes including 'to and fro' in the KEIFU MARU region.

Rain rate for SS and total echo is shown in Fig. 2. The variation of the SS convective rain rate(S_c), is controlled by the internal active convective cells, intensify the average rain rate(S_a). Even the SS covered 6.5% of the total echo area(Fig.1), its rain rate is higher than the rain rate of the total echo(R_a).

Figure 3 shows the variations of area and rain rate with time for the SS. Rapid increase of rain rate related to the warm rain process in the developing stage. In the dissipating stage, rain rate peak(shown by the thick arrow) coincides with the peak of the echo area, related to the cold rain process. Rain rate is inversely related to the area from Nov.11, 2130GMT to Nov.12, 0030GMT, due to the merging effect, related to the formation of the SS.

Figure 4 shows the comparison of area between the results of radar(R) and CST(G) analysis. The area for the convective and stratiform components are comparable. On the other hand, the area-integrated rates(Fig. 5) for the convective component of CST(G_c) is lower than the area-integrated rates for the convective component of radar(R_c). This lower estimation of convective rainfall underestimates the total CST's rainfall amount even the area was comparable(Fig. 4).

Figure 6 shows the calculated area of the SS by radar(R) and CST(G) analysis. We see that CST can't identify any cloud components till Nov.11, 2143GMT, after that time convective area R_c is comparable with G_c . As expected, the area for the stratiform component of CST(G_s) is higher than the area for the stratiform component of radar(R_s) after Nov.12, 0043GMT. The rainfall amount(Fig. 7) of the SS again shows the underestimation of convective rainfall for CST(G_c) analysis.

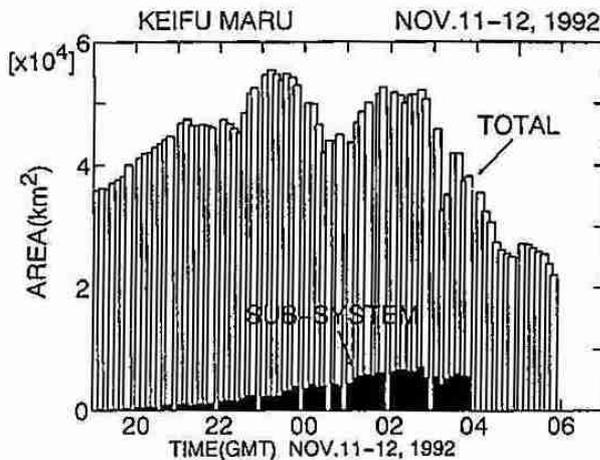


Fig. 1. Area of the Sub-System and radar echoes.

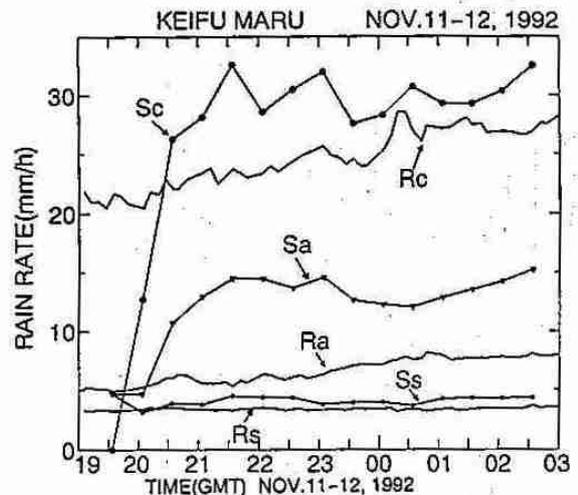


Fig. 2. Sub-System(S) & radar echoes(R) rain rate. Subscripts c, s & a are for convective, stratiform and average.

The stage dependent threshold temperature is shown in Fig. 8. We see that radar echo area is comparable and lies below CST identified area. The CST identified area lies below cirrus shield of $T_{bb} 215^{\circ}\text{K}$ up to Nov.11, 2343GMT. Between Nov.11, 2343GMT and Nov.12, 0448GMT, CST identified area lies below cirrus shield of 220°K and after that it is below 230°K .

<Conclusions> It was found that the SS moved ENE and covered 6.5% of the total echo area brought a large amount of rainfall. Its higher rain rate, especially the variation of the convective rain rate, time lag between the peaks of rain rate and echo area disclose the internal structure of the tropical cloud cluster. Estimated rain rate of the cloud components, long lasting of stratiform region, and continuation of convective region during the dissipating stage infer heavy rainfall from large and active cloud cluster in the IFA of TOGA-COARE.

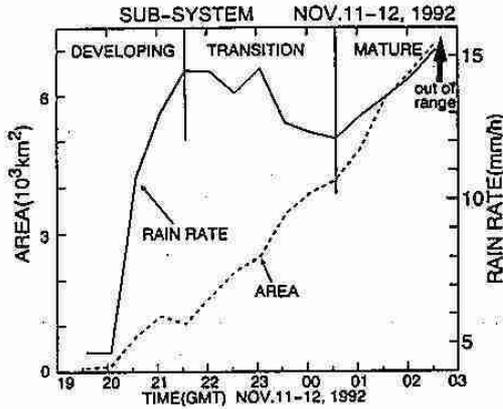


Fig. 3. Area and rain rate for Sub-System.

AREA-INTEGRATED RATES NOV.11-12, 1992

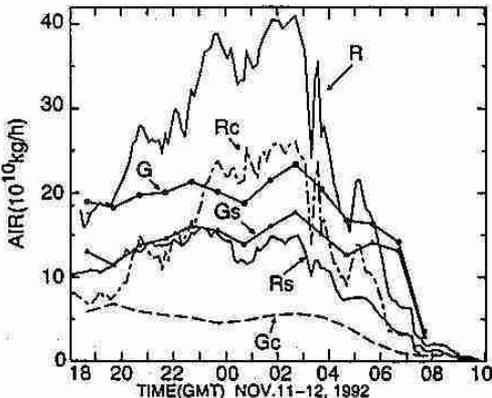


Fig. 5. Same as Fig. 4 except for area-integrated rates(AIR).

SUB-SYSTEM RAINFALL AMOUNT

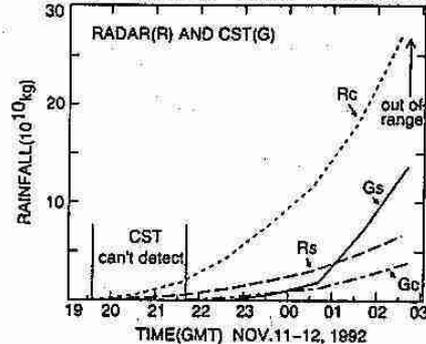


Fig. 7. Same as Fig. 6. except for rainfall.

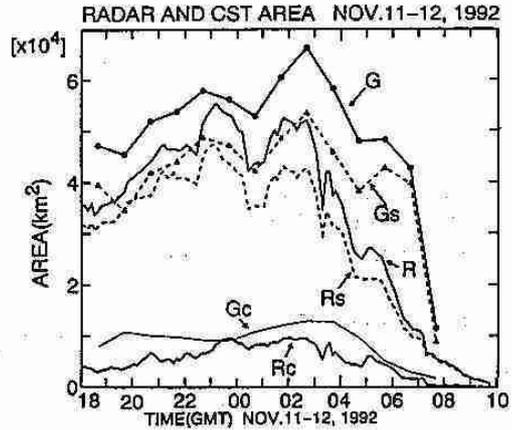


Fig. 4. Area for CST(G) analysis and radar echoes(R). Subscripts c and s are same as in Fig.2.

SUB-SYSTEM AREA

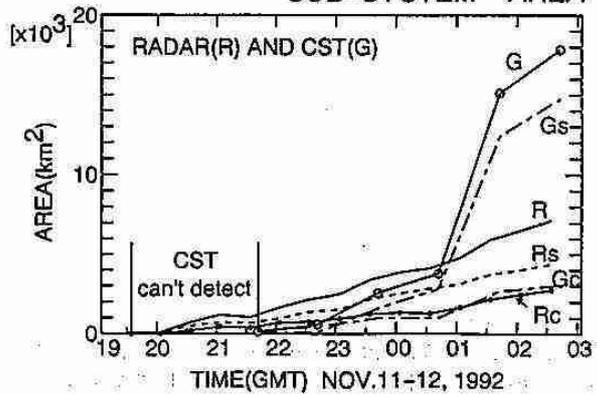


Fig. 6. Radar(R) & CST(G) area for SS. Subscripts c & s are same as in Fig. 4.

RADAR-CST-GMS AREA NOV.11-12, 1992

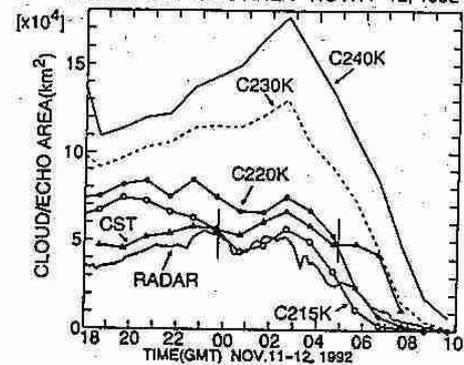


Fig. 8. Cloud/Echo area. Cirrus shield area indicated by C with respective T_{bb} .

8. 熱帯太平洋上のクラウドクラスターの メソスケール構造について — 地上及び衛星リモートセンシングデータによる事例解析 —

*勝俣 昌己・上田 博・Md. Nazrul Islam (北大・理), 高橋 暢宏 (北大・理, 現:通信総研鹿島)

< はじめに >

TOGA/COARE IOP(Intensive Observational Period)の初期, 1992年11月10日~12日にかけて, クラウドクラスターの大規模な西方伝播がみられた. このイベント中のSSM/Iの2シーンについて衛星及び地上からのリモートセンシングデータを主に用いた事例解析を行ったので, 結果を以下に報告する.

< 使用データ >

SSM/Iデータは, 85GHz垂直偏波チャンネルの輝度温度(85V TB), 垂直, 水平偏波チャンネルの輝度温度比(85H/V)の2つのパラメータを使用した. また, VISSR/GMSの赤外輝度温度データ(IR-TB, TOGA/COARE CD-ROMより)も同時に使用した. これらの衛星データを, 集中観測領域であるIFA(Intensive Flux Array)領域に展開していた啓風丸のレーダー(2°S, 155°E), 或いはマヌス島(2°S, 147°E)に展開していた北大理学部レーダーのデータと比較, 解析を行った.

< 解析結果 >

このイベントは, 日付変更線付近での新たな対流の発生(11月9日)によって始まり, その後クラウドクラスターが成長, 衰弱を繰り返しながら西へ伝播, 最終的には140E付近まで伝播した(11月12日).

この期間中におけるSSM/Iの観測のうち, 啓風丸レーダーの観測領域に対応する11月11日19GMTでのSSM/I 85V TB画像を図1に示す. ここで, 低TB(<220K)の部分は, 2種類に分類することができる. そのうちひとつはVISSR/GMS(図2)で認識される発達したクラスターの中心部に対応する部分で, これはクラスター内の降水粒子及び上層の雪氷による散乱がよく効いている部分であると思われる. 対するに, それらの現象を約150~500kmの間隔をおいて取り囲むように, いくつかの線状の低TB部がみられる. これは, VISSR/GMSでは240K以上のTBを示しており, 雲頂高度が低い, ライン状の雲として認識される. SSM/Iの同じ観測における85H/V画像(図3)では, このライン状組織はクラスター中心部とほぼ同じ値を示している. これは, クラスター中心部とライン状組織が鉛直積算雲水量においてほぼ同等の値をもっていることを示している.

これを対応する時刻の啓風丸レーダー画像(図4)でみると, 前者は広がった, 層状域と思われるエコーパターンを示しているのに対し, 後者はエコー域が極めて狭いにもかかわらず, 極めて強い(>50dBZ)反射強度を示していた. 以上から後者は, 雲頂が低く雪氷層が薄いにもかかわらずマイクロ波の強い散乱を引き起こす粒子を多く含み, 融解層下の雲水及び雨水の密度も高い, 強い対流の発達初期に対応するものであることがいえる. このような強い対流域がクラスターを取り囲む形で存在すること, つまり同時に発生していることは, クラスター中心部から外縁部へ伝わる何物かの存在を示唆している. 現に, VISSR/GMS及びレーダーの時系列画像では, 前者の衰弱に対応して後者がスコールラインへと発達しており, この両者の密接な関係を裏付けるものとなっている.

もう1シーンのSSM/Iは12日08GMTのマヌス島近辺を観測している. VISSR/GMSによると, この時刻までに, 上記の位置のクラウドクラスターは消滅しているが, 新たなクラウドクラスターがマヌス島付近にあり, 水平スケールが300km以上であった. このクラスターに対応する領域において, SSM/Iの85V TB画像では複数の明瞭な数十kmスケールのライン状の低TB部がみられる. これは85H/V画像においても不明瞭ながらも確認できる. このうち, マヌス島に最も近いものは, 北大理学部レーダーのエコー分布及びドップラー速度パターンから, 東に伝播するレインバンドとして認識することができた. つまり, このバンドは先頭の対流域と後方の層状域を明瞭にもっていた. この区分に対応して, レインバンドにおける85V TBでは伝播の先頭部がより低TBであるパターンを示し, SSM/Iからも対流性領域が確認することができた. また同様のTBパターン, つまりライン状組織の一方のエッジが明瞭な低TB部であるようなパターンがクラスター内の他のライン状組織に於いてもあるように見える. これらライン状組織はそれぞれが別の方向を向いており, 全体がクラスタースケールの場によって組織化されている印象は薄い. ここから, 数百kmスケールのクラスターを構成する要素として, 伝播する数十kmスケールの組織が重要な存在となっている状態が考えられる.

< まとめ >

複数の衛星及びレーダーのデータを組み合わせることにより, 一連のイベントでの2シーンについてクラウドクラスターに関するメソスケール構造を示すことが出来た. 特に, SSM/Iは雲内部の構造についてよく認識することができており, 今後の同様の解析に極めて有効であることがわかった. また, 熱帯域の対流活動における, 特にメソスケールを軸としたマルチスケールの組織化について一端を示すことができた. 今後にも更に多くの事例について, スケール間の関係に重点をおいて解析を進めていきたい.

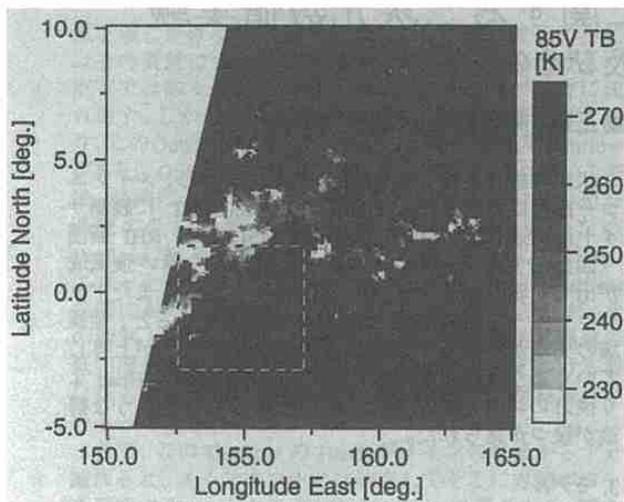


図 1 : 11月11日 18:42GMTのSSM/I 85V TB.

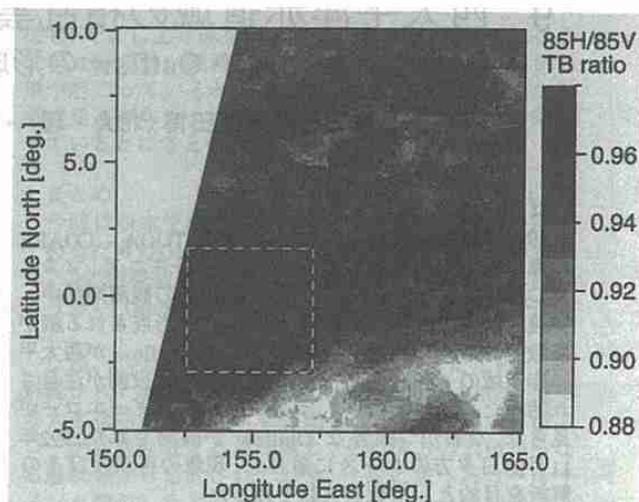


図 3 : 図 1 に対応する時刻のSSM/I 85H/V ratio.

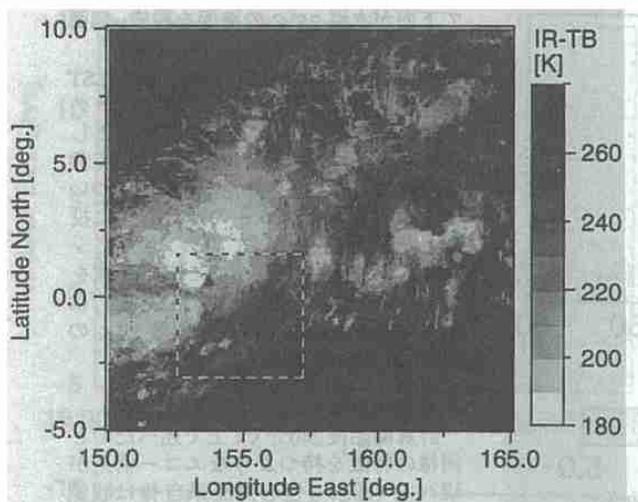


図 2 : 図 1 に対応する時刻のVISSR/GMS IR-TB.

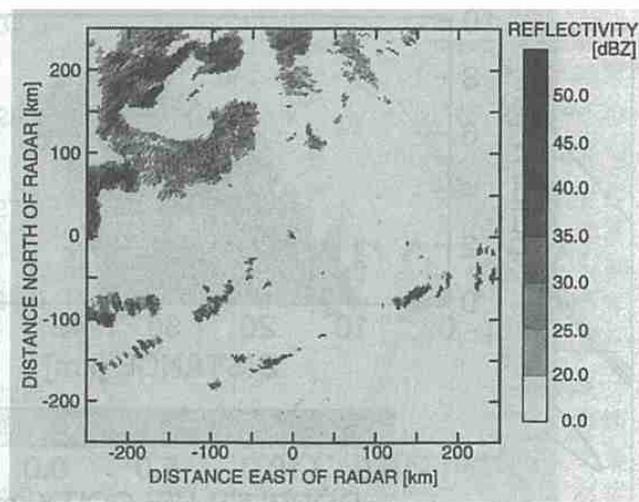


図 4 : 図 1 に対応する時刻の啓風丸レーダーエコー.
範囲は図 1 ~ 3 中に示される領域に同じ。

9. 西太平洋赤道域の積乱雲に関する二次元数値実験

— 薄い Outflow の形成及びその発達過程 —

佐藤芳昭・上田博(北大・理)・吉崎正憲(気象研・台風研究部)

1. はじめに

1992年11月から1993年1月にかけて TOGA - COARE の集中観測の一環として、バブアニューギニア、マヌス島においてレーダー観測が行われた。その観測期間中、発達初期の対流雲から薄い Outflow が形成される例が多数観測され、その形成過程と、この Outflow が西太平洋赤道域の Cloud Cluster の形成に果たす役割が注目され始めた。そこで今回は、ライン状のレーダーエコーが見られ、なおかつ顕著な Outflow が観測された1992年11月25日夕方のケースに着目し、現象の再現及びその解析を目的として数値実験を行った。

2. 観測

1992年11月25日 16:15LST に北西からレーダーのレンジ内に入ってきたエコー領域は 16:45LST 頃からライ

ン状に組織化しながら観測サイトに接近し、メインエコー前面に形成された Outflow が 18:05LST に観測サイトに到達した。その20分前の 17:45LST の RHI 断面(図1)を見ると、メインエコーの前方から薄い強風域が出ているのが分かる(図1, 10km~16km)。またドップラーモードで探知されたエコー領域を見ると、強風域の先端からある一定の傾きでエコートップが上昇していくような構造が見られ、さらに Outflow の Head より後方のエコー上部では、風が収束しているような構造が幾つか見られた。

3. モデル

用いたモデルは氷相を含んだ弾性系・非静水圧二次元モデル(吉崎, 1988)で、雲物理過程には Murakami (1990) のスキームを使用している。モデル領域は200x18kmで、格子間隔は水平方向に 1km、鉛直方向には最小格子間

隔 60m から間隔を徐々に広げながら最大で 800m とっている。境界条件として下面が水温 26°C の海面を設定、側面は Open にしている。

初期条件は1992年11月25日 16:00LST にマヌス島で上げられたゾンデデータを用いた。但しここでは対流を起こしやすくするため、下層 2km について相対湿度で 14% 湿らせた。また風についても観測されたエコーの進行方向に投影した風を理想化して用い、さらにシステムの移動にあわせてモデル領域を -5m/s で移動させた。対流の立ち上げは $\Delta x = 40\text{km}$, $\Delta z = 2\text{km}$ に最大偏差 2.5K の Thermal Bubble を与えて行った。

4. 結果及び考察

計算開始後240分で、上で述べたのと同様の特徴を持つようなエコー構造が現れた(図2)。但し対流系自体は観測例と比べてエコートップの傾斜が小さく、水平方向に広がりを持っていた。Outflow に注目しても、この時点でモデルで現れているものは、幅が 15km 高さが 500m であり、観測された Outflow を横に二倍した位の規模があった。なお観測地点で Outflow は図 3a のような気温及び風速の変化をもたらしているが、これと比較するため図2の時点で Outflow の先端から 10km の $t = 240\text{min}$, $x = -50\text{km}$ の地点での U 及び T' の時間変化を図 3b に示す。これらを比べると絶対量には多少の違いがあるが、大まかな傾向ではよく一致していることが分かる。

計算結果からこの Outflow の起源は次のように考えられる。Thermal Bubble によって立ち上げられた対流はその絶対湿度により、十分上方に発達をしないうちから降雨を形成する。この降水領域下部では雨滴の蒸発によりここから

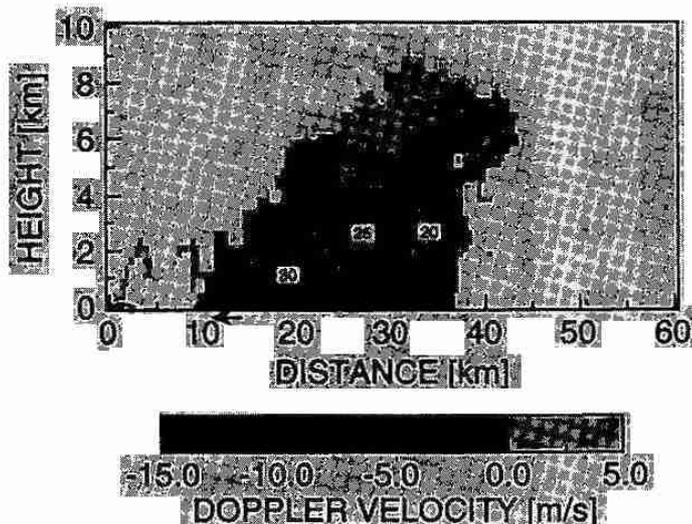


図1. 1992年11月25日17:55LSTにマヌス島で観測されたRHI。陰影はドップラー速度を、実線は反射強度を20dBZから5dBZ毎に示している。

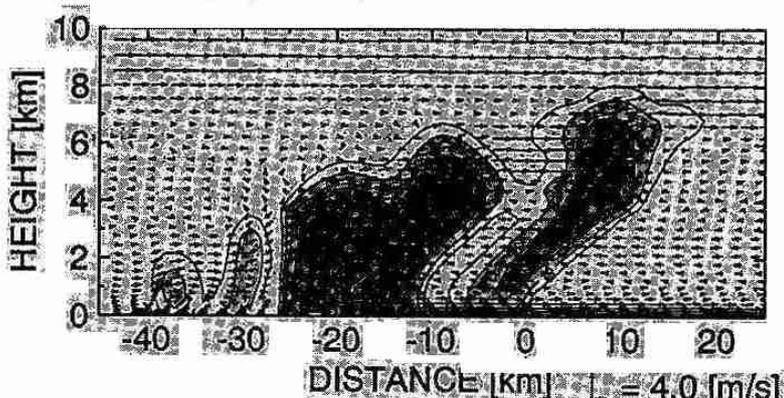


図2. 計算開始後240分のレーダーエコー。コンタは10dBZ毎、矢印は気流系を示す。

風下側にかけて冷気層を形成し、また降水粒子の存在はその質量によって下降流を引き起す。このためその直下では徐々に圧力が高まり、やがてこれが前方に流れ出す。しかしエコー上部では対流はまだ発達しており、このOutflowのすぐ上にはこの上昇流域に入るInflowがあり、Outflowは極薄い層のみに限定される。この後、降雨による下降流は時間の経過と共に中層の相当温位の低い大気を引き込むようになる。このためOutflowは徐々に強化されていく(図4)。しかしながら、エコー上部の対流に吸い込まれていくInflowはOutflow先端においてわずかに持ち上げられてくるのだが、その断熱上昇によってOutflowの上には局地的に温度の低い層が発生する。これがOutflowを押さえつける形になるため、これはその薄さを保ったまま、維持されていると考えられる。

さて、このOutflowのHeadがメインの対流から十分離れると、メインエコーとは独立してそこに対流エコーを形成する。しかしここではOutflowの薄さから、緩やかな上昇流しか生じていないため、対流の急激な発達は見えない。このようにして、生じた対流エコーが徐々に発達しながら後方に移動していくため、結果としてエコー領域全体が一定の傾きを持つようになっている。

さらに計算結果では、メインエコーの後方で霰が発

生し、そこに上昇流を引き起こしていた。観測ではここにエコーの強い領域が存在してないため、一概に同じ事が起こっているとは言えない。しかしこのような水相の発達がエコー上部に現れている収束の形成に寄与しているとは考えられる。

5. まとめ

今回は西太平洋赤道域の観測事例に基づき、特徴的であった薄いOutflowに注目して二次元数値実験を行った。この実験結果はその対流現象をよく再現し、これにより薄いOutflowの形成・維持についての説明がなされた。

なお、この実験では一般場を一様に与えたため、この対流システムは引き続き発達し、最終的に100km規模の大きな対流システムを構築した。これは弱い対流エコーが複数存在する対流域と、その後方の水相からなる層状域から形成されており、一般に言うスコールラインと類似したものとなった。しかしその層状域の上部には局所的に上昇流が発達するなど、現実でも見られたような興味深い現象が現れた。そのため今後も、この実験の後の方の時間について引き続き解析する予定である。

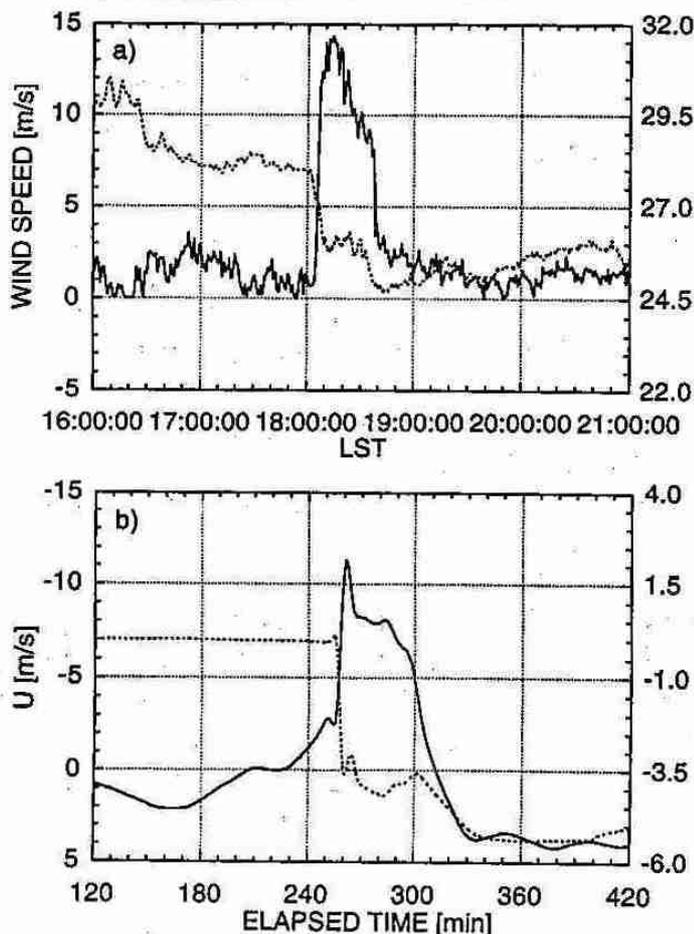


図3. a:1992年11月25日のマヌス島で観測された風速(実線)及び気温(破線)の時系列。b: 今回の実験における $t = 240\text{min}$, $x = -50\text{km}$ の地点の U (実線) 及び T (破線) の時系列。

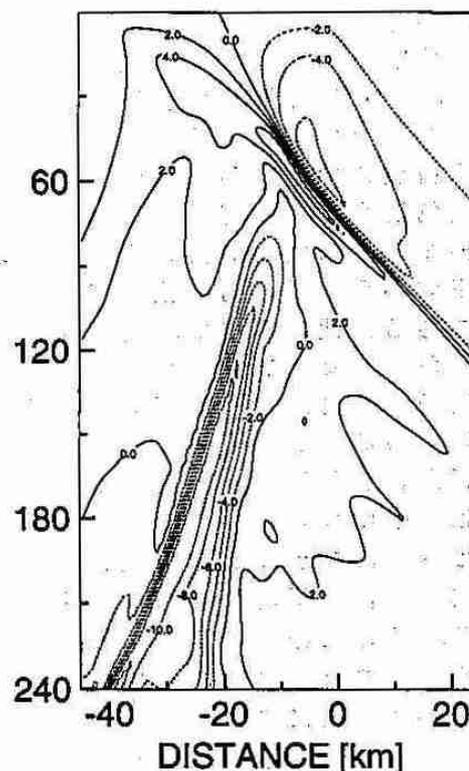


図4. 今回の実験における最下層の U 。コンタは 2m/s 毎で実線が正(右向き)、破線が負(左向き)を示す。

10. 北極域と南極域の水蒸気循環の比較

山崎 孝治 (北大・地球環境)

1. はじめに

極域は低温であるため、大気中に含まれる水蒸気量は少なく、観測も難しい。ここでは、客観解析データを用いて南極域と北極域の大気中の水循環の様子を比較する。客観解析データは、いわば観測量を数値予報モデルによって内挿したもので、観測値そのものではないが、グローバルに均一なデータが得られる利点がある。最近、予報モデルやデータ同化技術の進歩により、以下の様な解析が可能になってきた。

2. データ

使用したデータは米国気象庁(NMC)の客観解析データで、1日2回、1986年から1991年までの6年間、水平分解能は緯度・経度とも2.5度である。NMCデータには標準気圧面6層(1000~300hPa)に相対湿度データがあり、それと温度データから水蒸気混合比を求めた。鉛直積分する際は、氷床高度データを用いて地上から300hPaまで積分した。詳細についてはYamazaki(1992, Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., 6, 36-45)を参照されたい。

3. 結果

可降水量は南極域では北極域よりかなり少なく、南極大陸の内陸部では1mm以下であるが、60°付近では差は小さくなる。季節変化は南北でかなり異なる。いずれも、夏に多いが、その振幅は北極域が圧倒的に大きい(図1)。

水循環の指標として水蒸気フラックス(輸送量)について述べる。水蒸気フラックスは水蒸気混合比と風速ベクトルの積を鉛直に積分したもので、年平均の水平パターンを示す(図2)。南極域海上の60°Sの緯度円では強い東向きフラックスがある。特に、インド洋から太平洋南方領域で強く、極向き成分が顕著であるが、北極域と比べれば同心円的である。北極域では、北大西洋から北欧にかけて強い極向き(北東向き)フラックスが見られ、また、アラスカにも極向き(北向き)フラックスが見られる。

南極大陸沿岸には、西向きフラックスがあるがこれは東西平均しても存在し、特に夏に顕著である。この点も南極の特徴であり北極には見られない。

極向き水蒸気フラックスの季節変化(図3)をみると、南極域では面白いことに可降水量は夏季に大きいのに、極向きフラックスは冬季のほうが夏季より大きくなる。北極域では夏季にフラックスも大きく南極域とは異なる。この南極域の特異な季節変化は南極大陸周辺の低気圧活動の季節変化による。即ち、環南極低気圧帯は冬季のほうが深く活発である。そのため、水蒸気量(温度による)と風速(低気圧活動による)の積の積分量である水蒸気フラックスの季節変化は南北風の強い冬の方が大きくなる。北半球でも低気圧活動は冬に活発になるが温度の季節変化の効果の方が大きく夏にフラックスが大きくなる。南極域では、さらに、フラックスは春と秋に大きくなる半年周期変動もみられ、低気圧活動の半年周期と対応していると思われる。水蒸気フラックスの収束(降水量-蒸発量)も同様な差が見られる。

4. まとめ

年平均では常識どおり、北極の方が南極より可降水量、水蒸気フラックス及びその収束は大きい。しかし、季節変化は北極では顕著ですべて夏に大きくなるのに対し、南極では、水蒸気フラックス及びその収束は低気圧活動の活発化に伴い、冬に大きくなる。このことは、南極域が温暖化した場合、低気圧活動がどう変化するかを考慮せず、単純に“降水量-蒸発量”が増え氷床が増大するという説明は不十分であることを示唆している。

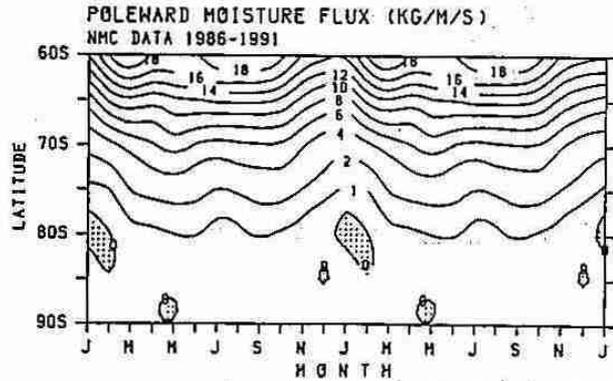
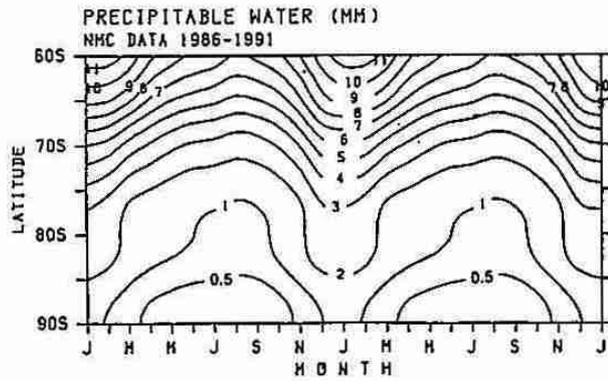
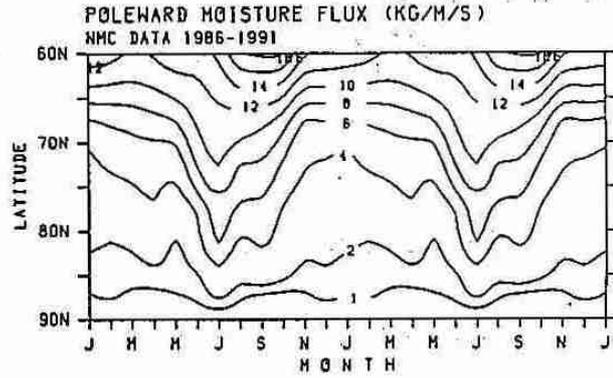
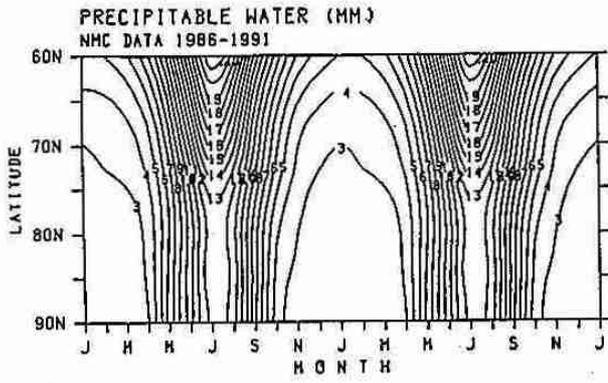


図1 可降水量の緯度・季節変化
(上) 北極域、(下) 南極域

図3 水蒸気フラックスの緯度・季節変化
(上) 北極域、(下) 南極域

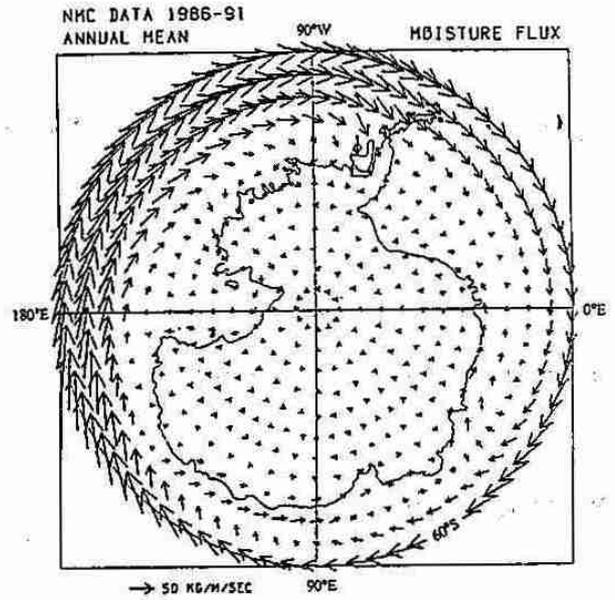
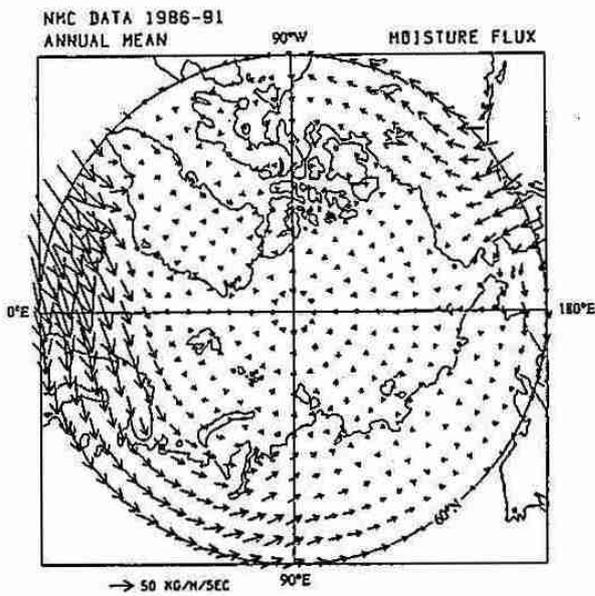


図2 年平均水蒸気フラックスの水平分布。(左) 北極域、(右) 南極域。

一発表会要旨②一

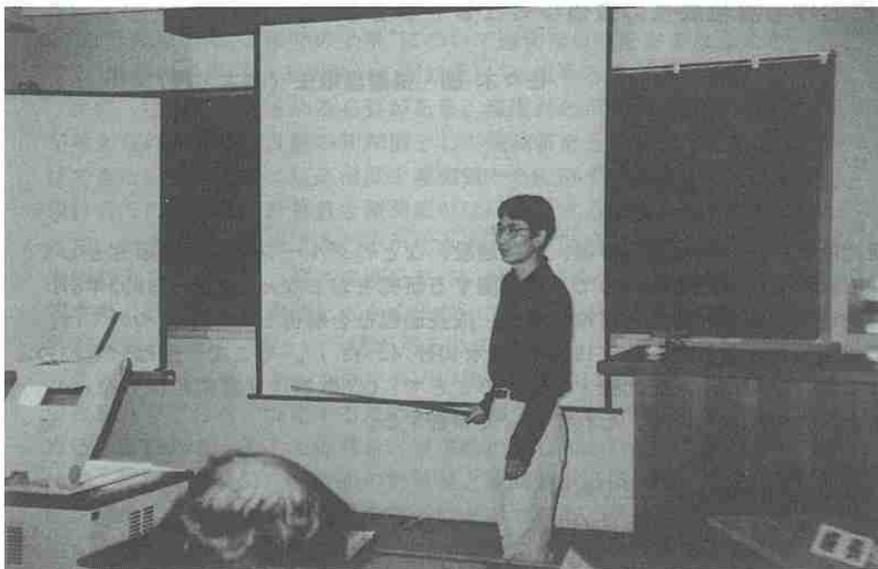
平成7年度第1回支部研究発表会要旨

日時：平成7年6月5日(月)

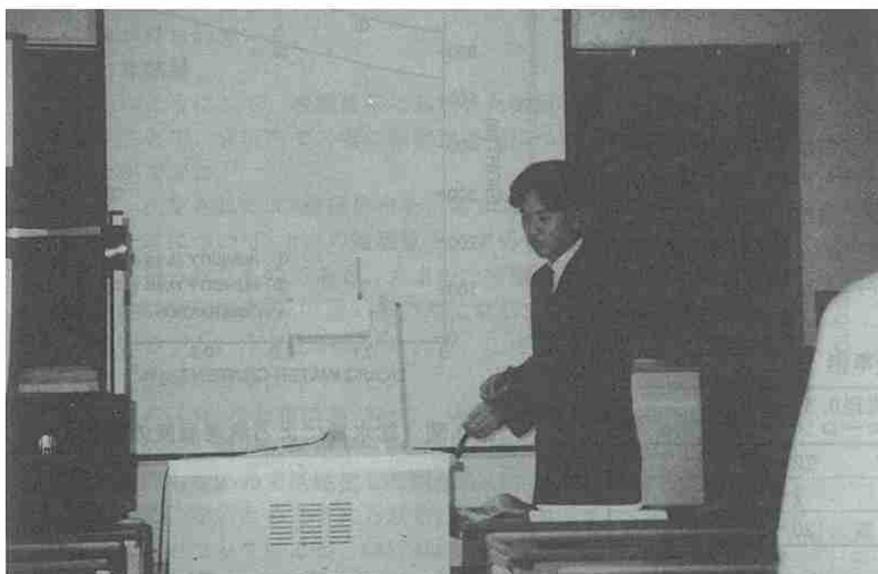
場所：北海道大学理学部3号館地球物理学教室
3-401講義室

1. 縦坑で観測された雲における雲粒成長の数値シミュレーション.....3:	北大院・理	佐々木 聡
	〃	播磨屋敏生
2. 最適励起擾乱のノルム依存性.....3:	北大院・地球環境	向川 均
	京大院・理	赤堀 浩司
3. 熱帯気候の形成について.....3:	北大院・地球環境	謝 尚平
4. 航空機による層状「氷雲」の内部構造.....3:	北大院・理	遊馬 芳雄
	〃	菊地 勝弘
	名大・大気水圏研	武田 喬男
	〃	中村 健治
5. UARS-CLAES データから検出された下部成層圏赤道ケルビン波について4:	北大院・地球環境	塩谷 雅人
	N C A R	J. Gille
	Lockheed Palo Alto Res. Lab.	A. Roche
	〃	J. Kumer
6. カナダ北極圏で行われたBASE (Beaufort and Arctic Storms Experiment) プロジェクト4:	北大院・理	菊地 勝弘
	〃	遊馬 芳雄
	〃	上田 博
	〃	岩田 総司
	〃	島村 泰介
	東大・海洋研	木村 竜治
	〃	坪木 和久
	AES, Canada	D. R. Hudak
	〃	R. E. Stewart
	U. of Toronto	G. W. K. Moore
	AES, Canada	E. T. Hudson
7. BASE期間中に観測された強いシアを伴う極域擾乱システムの構造.....4	北大院・理	岩田 総司
	〃	遊馬 芳雄
	〃	島村 泰介
	〃	菊地 勝弘
	〃	上田 博
	東大・海洋研	木村 竜治
	〃	坪木 和久
8. アリゾナ大気エアロゾルの成分分析.....4	北大・工	堀 雅裕
	〃	太田 幸雄
	〃	村尾 直人
9. 航空機を用いたSO ₂ 、硫酸塩の高度分布測定法の問題点4	北大・工	萩原 研二
	〃	太田 幸雄
	〃	村尾 直人
	〃	山形 定
10. 雪と氷のCRACKについて.....5	北教大・岩見沢	志尾 彌

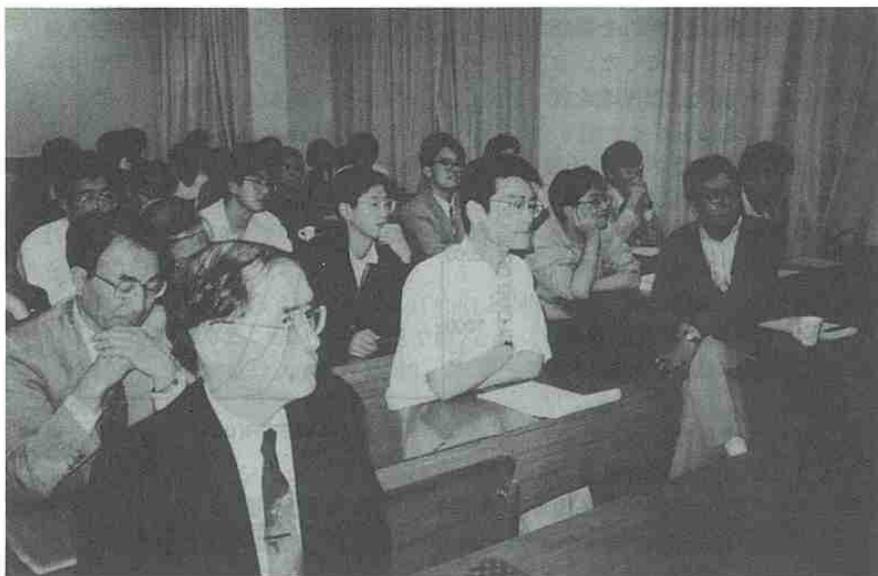
平成7年度第1回支部研究発表会



◀研究発表 謝 尚平会員



◀研究発表 岩田総司会員



◀研究発表風景

1. 立坑で観測された雲における雲粒成長の数値シミュレーション

佐々木 聡・播磨屋敏生(北大・理)

1. はじめに

我々は、名古屋大学・大気圏科学研究所、中央大学・理工学部、三井建設、などのグループとの共同研究として、北海道上砂川町にある排気用立坑(三井石炭鉱業所有)を使用して、雲に関する研究をおこなっている。1993年8月10~12日に得られたデータを用いて、雲物理実験装置の特性と雲粒の生成・成長過程とを解析した結果については、「平成6年度第1回支部研究発表会」で報告したとおりである(1994年, 細氷40号, 42-43.)。そこで今回は、雲粒の成長について数値シミュレーションをおこない、観測結果と比較・考察することで、CCN数濃度と雲粒粒径分布との関係について、さらに詳細を明らかにすることができたので、それについて報告する。

2. 前回報告のあらまし

立坑は、深さ710m、直径5.5mで、上昇流速は約2.0m/sで一定であった。また、坑底につながる坑道の途中には、湿度を増加させる目的でスプリンクラーを設置してある。

観測は6ケースおこなわれたが、そのうち3ケースを代表的なものとして扱っている。それぞれについて第1表に示すが、CASE1は撒水しなかったケース、CASE4は撒水してエアロゾルが少なかったケース、CASE5は撒水してエアロゾルが多かったケース、となっている。

撒水による影響として、湿度が上昇するのはもちろんであるが、使用した地下水にNaClが多く含まれていたために、全エアロゾルに占めるNaClの割合の増加がみられた。また、雲粒の成長に関しては、主にNaClを凝結核としていたことと、(直径40μm以上の雲粒が観測されなかったことから)凝結成長過程のみによって成長していることがわかった。

第1表 主な解析事例

事例	撒水	直径0.3μm以上の エアロゾル数濃度(cm ⁻³)
CASE1: 10 AUG. 1993	無	22~28
CASE4: 11 AUG. 1993	有	7~8
CASE5: 12 AUG. 1993	有	20~93

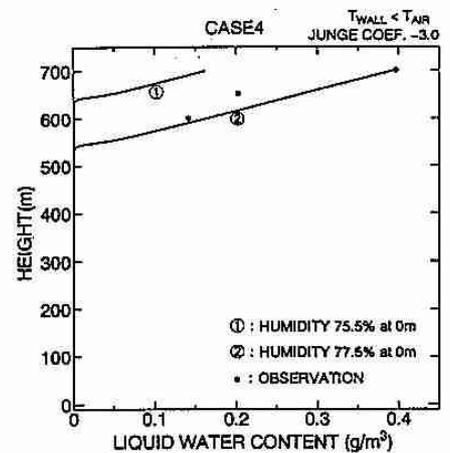
3. 計算手法

前回報告の結果から、立坑内を上昇する空気塊を考え、NaClを凝結核とした雲粒の凝結成長を数値シミュレーションすることにした。立坑は鉛直一次元で上昇流速一定なので、時間に関する微分方程式を使用すれば、高度上昇にともなう雲粒の成長を計算できる。

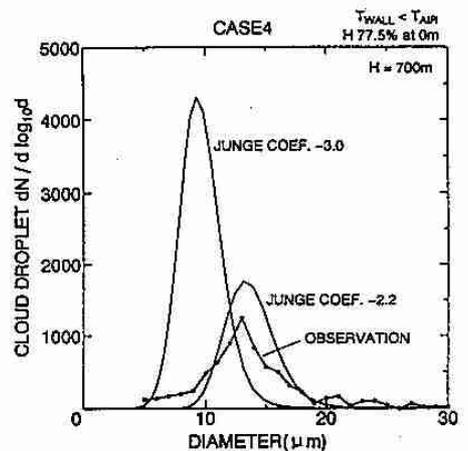
具体的な計算方法であるが、まず雲粒を粒径ごとにクラス分け(直径0.02~約100μmまで、150クラスに区分)する。そのうえで、各クラスに凝結成長の式を適用し、各クラスの雲粒数を成長量に応じて再分配する。雲粒へ凝結した分だけ水蒸気混合比を減少させ、その時の凝結熱の発生を考慮して、新たな温度・湿度を得る。これらの計算を時間ステップ0.1秒ごとにくり返すことで、雲粒の成長を計算することができる。しかし、立坑内の状況を再現するには、さらにいくつかのデータが必要である。

まず、立坑の壁への水蒸気凝結量を求めなければならないが、これは測定された温度減率から評価できる。つまり、壁との熱のやりとりを“顕熱の効果”、壁への凝結による(雲粒についての)凝結熱発生量の低下を“潜熱の効果”、と示すならば、

$$\text{測定された温度減率} = \text{湿潤断熱減率} + \text{顕熱の効果} + \text{潜熱の効果}$$



第1図 雲水量による坑底湿度の評価



第2図 雲粒粒径分布による
ユンゲ分布係数の評価

という式がなりたつ。そこで、“測定された温度減率”と“湿潤断熱減率”は既知なので、“顕熱の効果”について適切な仮定をおこなうことで、“潜熱の効果（つまり壁への凝結量）”を求めることができる。

次に、坑底湿度を求める必要がある。湿度計の示度には数%の誤差が考えられるため、計算の初期値として観測値をそのまま与えることはできない。そこで、坑底湿度を観測値から0.5%ずつ変化させて、雲頂付近での雲水量の計算値と観測値がほぼ一致するような値を探すことで、坑底湿度を評価することができる。第1図は、この方法をCASE4の例で示したもので、坑底湿度を75.5%（観測値のまま）とすると、雲水量の計算値は観測値と大きく異なってしまいが、良い一致を示す坑底湿度として77.5%という値が得られている。

最後に、パーティクルカウンターの測定範囲外について、CCN粒径分布をユング分布で仮定するための適切な（ユング分布の）係数を求める必要がある。そこで係数を、標準的な値-3.0から0.1ずつ変化させて、雲頂での雲粒粒径分布の計算値と観測値がほぼ一致するような値を探すことで、適切な係数を得ることができる。第2図は、この方法を第1図と同じ例で示したもので、雲粒粒径分布の計算値と観測値とで、ピークの位置や個数がほぼ一致するときの係数として、-2.2という値が得られている。

4. 計算結果

以上のようにして、観測結果に基づいた数値シミュレーションをおこなうことで、立坑内での雲の微物理過程について、全体像を把握することができた。

まず、決定されたCCN粒径分布を、第3図に示す。これは、それぞれのケースについて、4点の観測値を、求められたユング分布係数で外挿して得られたものである。大まかな特徴として、小さい粒径範囲では、CASE1とCASE5のCCN数が多いのに対し、CASE4のCCN数が少なくなっている、ということがあげられる。この違いによって、雲粒粒径分布にも影響が出るはずである。

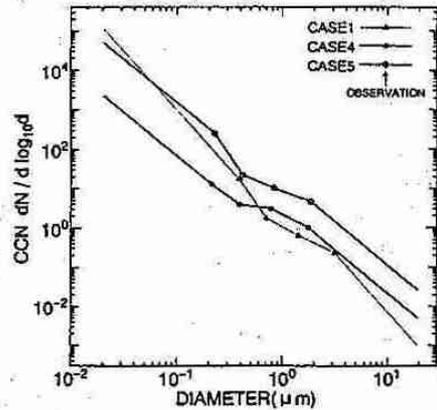
これらのCCN粒径分布に基づいて、実際の雲粒粒径分布を計算で再現したものを、第4図に示す。CASE1は山型になっていないが、飽和に達して間もないので活性化した雲粒としていない雲粒とにまだ違いが出てきていないためと考えられる。それに対して、CASE4とCASE5はすでに山型となっているが、CASE4はピークの粒径が約13μmと大きく雲粒数が少ないのに対し、CASE5はピークの粒径が約4μmと小さく雲粒数は多い。このような雲粒粒径分布の違いには、水蒸気量に関する違いも影響している。

そこで、水蒸気量に関する条件をそろえて、CCN粒径分布の違いのみによる雲粒粒径分布への影響をみたのが、第5図である。CASE1とCASE5はほぼ同じでピークの粒径が小さく雲粒数が多いのに対し、CASE4はピークの粒径が大きく雲粒数が少ない。これは第3図で見られるような、小さい粒径範囲のCCN数の違いがそのまま影響していると考えられる。

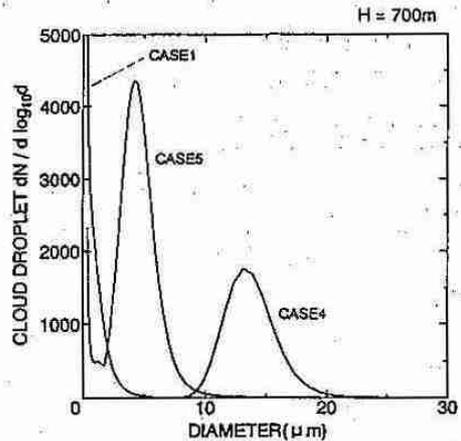
つまり、CCN数濃度の高いとき（CASE1とCASE5）には雲粒は小さく（このケースでは、ピークの粒径で約7μm）、CCN数濃度の低いとき（CASE4）には雲粒は大きい（約13μm）、ということが実際に評価できたことになる。

5. まとめ

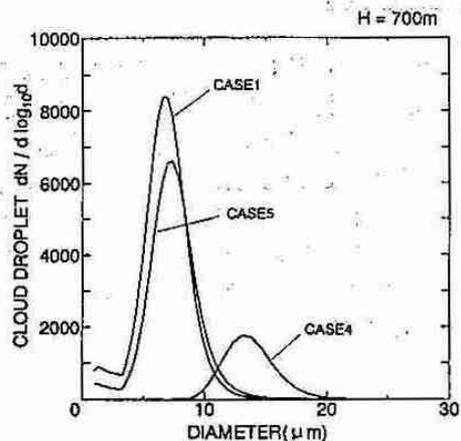
雲粒成長の数値シミュレーションをおこない、観測結果と比較・考察することで、観測できなかった物理量を評価することができた。さらに、CCN数濃度が高ければ雲粒粒径は小さく、CCN数濃度が低ければ雲粒粒径は大きい、というようなCCN数濃度と雲粒粒径分布との因果関係を、明確に示すことができた。



第3図 決定されたCCN粒径分布



第4図 計算で再現された雲粒粒径分布



第5図 CCN粒径分布の違いのみによる雲粒粒径分布への影響

2. 最適励起擾乱のノルム依存性

*向川 均(北大・地球環境), 赤堀 浩司(京大・理)

1. はじめに

有限時間で最も発達する最適励起擾乱に関する, Eady モデルを用いた我々のこれまでの研究 (Mukougawa and Ikeda, 1994) では, 擾乱の流線関数の振幅に相当する, L_2 ノルムを用いて擾乱の発達を見積もってきた。しかし, モデル境界にエクマン層を仮定した研究 (日本気象学会 '94 春季大会予稿集 C110) で, 最適励起擾乱に対応する初期擾乱がモデル境界付近で特異な構造を持つ (図 1) など, L_2 ノルムに依存すると思われる特性を示すことが明らかになった。そこでここでは, 最適励起擾乱の特性がノルムにどのように依存するかを調べるため, トータルエネルギーの平方根 (以下, E ノルム) をノルムとして考えた場合について詳しく検討した。

2. モデルとエネルギーノルム

モデルは, 今までと同じ, 無次元化された Eady モデルを鉛直方向に差分化した N 層モデルである。従って, 擾乱は各層の流線関数の振幅からなる N 次元ベクトル ψ で表現できる。一定の鉛直シア λ を持つ基本流 $U_0 = \lambda z$ と, モデル上下境界 $z = 0, 1$ にエクマン層に伴う鉛直流を仮定する。ここでは, 擾乱のノルムとして, L_2 ノルム: $\|\psi\|_{L_2} \equiv (\psi, \psi)^{1/2}$ の代わりに, E ノルム: $\|\psi\|_E \equiv (\psi, q)^{1/2}$ (ここで, q は擾乱の渦位の振幅ベクトル) を考え, ある有限な発達評価時間 τ 後に $\|\psi\|_E$ を最大にするように, 最適励起擾乱を定義する。

3. 結果と考察

- E ノルムでは, エクマン層を仮定した場合でも, 最適励起擾乱に対応する初期擾乱は, モデルの上下境界付近で特異な構造を示さない (図 2)。このことから, L_2 ノルムの場合に現れた擾乱の特異な構造が, エクマン摩擦により励起されるモデル境界での鉛直流に伴う, 擾乱の有効位置エネルギーから運動エネルギーへの変換項と関連していることが示唆される。

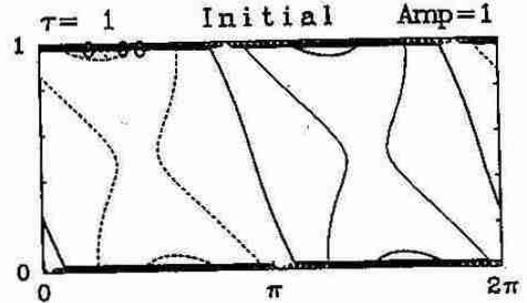


図 1 L_2 ノルムでの最適励起擾乱に対応する初期擾乱の流線関数 (基本流の鉛直シアの弱い安定域) [50層モデル, $\tau = 1$ (約 2.3 日), $\lambda = 0.1$, 擾乱の東西波数 $k = 6$]. 横軸は x , 縦軸は z , Amp は L_2 ノルムの大きさ。

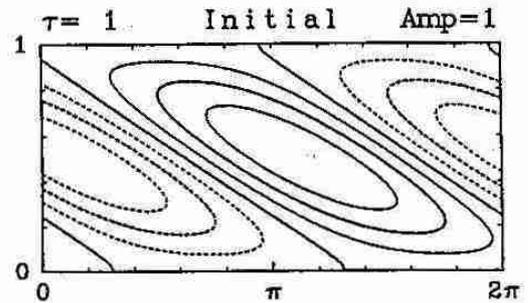


図 2 E ノルムでの最適励起擾乱に対応する初期擾乱の流線関数 (基本流の鉛直シアの弱い安定域) [50層モデル, $\tau = 1$ (約 2.3 日), $\lambda = 0.1$, $k = 6$]. 横軸は x , 縦軸は z , Amp は E ノルムの大きさ。

- 力学的に不安定な基本流を仮定したとき、E ノルムでの最適励起擾乱に対応する初期擾乱は、 L_2 ノルムでのそれと比べ、より大きな鉛直スケールを持つ (図 3)。しかし、この構造は L_2 ノルムの場合と同様に、時間 τ とともに ψ の随伴モードに漸近する。一方、安定な基本流を仮定したとき、最適励起擾乱に対応する初期擾乱の鉛直スケールは、E ノルムでも、 L_2 ノルムの場合と同様に、時間 τ に反比例して小さくなる (図 4)。
- 最適励起擾乱の振幅 $\|\psi\|_E$ は、安定な基本流を仮定しても、時間 τ にほぼ比例して増大する (図 5 の実線)。これは、エクマン層を仮定しても流体内部は非粘性であるため中立な singular mode が存在し、無限時間での擾乱の発達が可能となるためである。また、この発達特性は Orr の mechanism によりうまく説明することができる。一方、それぞれの擾乱は、エクマン層を仮定した場合には、中立な non-singular mode は存在しないため、無限時間では減衰してしまう (図 5 の破線)。

4. まとめ

モデル境界での鉛直流をエクマン層などにより表現するモデルにおいて、より「現実的な」最適励起擾乱を求めるには、そのノルムとして L_2 ノルムや運動エネルギーノルムではなく、E ノルムを採用する必要がある。しかしながら、擾乱発達の基本的なメカニズムは、考慮するノルムに依存しない。

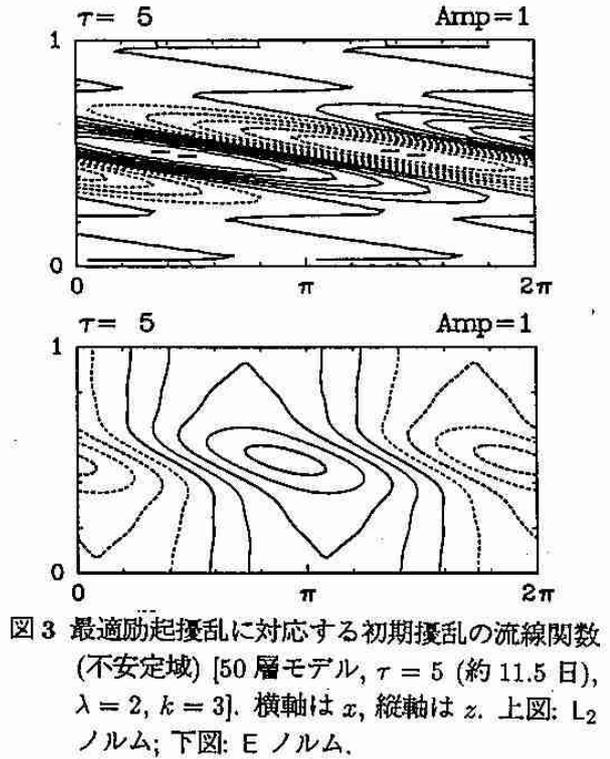
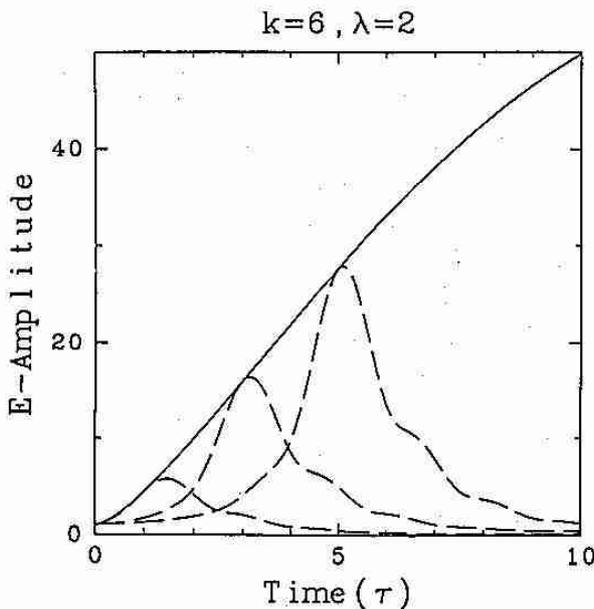


図 3 最適励起擾乱に対応する初期擾乱の流線関数 (不安定域) [50 層モデル, $\tau = 5$ (約 11.5 日), $\lambda = 2, k = 3$]. 横軸は x , 縦軸は z . 上図: L_2 ノルム; 下図: E ノルム。

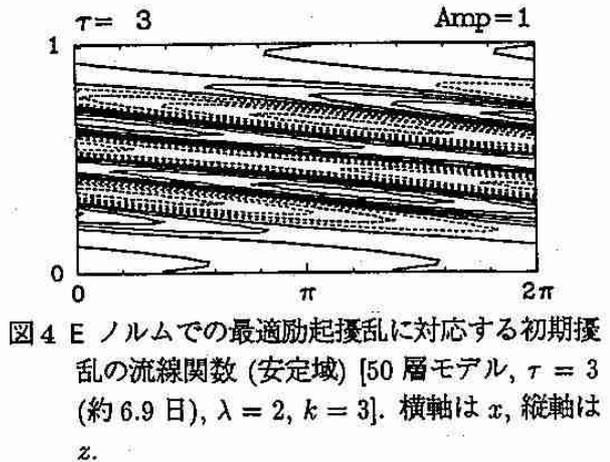


図 4 E ノルムでの最適励起擾乱に対応する初期擾乱の流線関数 (安定域) [50 層モデル, $\tau = 3$ (約 6.9 日), $\lambda = 2, k = 3$]. 横軸は x , 縦軸は z .

図 5 安定域での最適励起擾乱の発達曲線 [50 層モデル, $\lambda = 2, k = 6$]. 横軸は発達の評価時間 τ , 縦軸は擾乱の E ノルム。実線は各 τ に対する最適励起擾乱の E ノルム。破線は $\tau = 1, 3, 5$ に対する個々の最適励起擾乱の時間発展。

3. 熱帯気候の形成について

謝 尚平 (北大・地球環境)

1. はじめに

10年に亘るTOGA研究によって我々の熱帯経年変動、特にENSOに対する理解が大きく進み、大気海洋相互作用の気候変動における役割も一般的に認識されるようになった。一方、熱帯気候の平均状態については観測事実が蓄積されていたにもかかわらず、幾つかの基本的な特徴についても物理的な解釈がされていない。例えば、熱帯気候の東西変化、年周期変化がどのように起きるのか、また熱帯収束帯がなぜ北半球に停滞するかなどの問題は古くから知られているにもかかわらず、未だに解決されていない。熱帯気候の形成問題の解明はPost TOGAの目玉プロジェクトの一つであるPACS (Pan American Climate Studies) の中心課題となっている。ここでは熱帯収束帯の問題を中心に話を進めるが、もっと幅広く知りたい方はPACS(1994)の観測研究レビューとXie(1995a)の理論研究のレビューに参照されたい。

東部太平洋と大西洋では熱帯収束帯(ITCZ)は太陽放射の最も大きい赤道ではなく、北緯10度くらいの所に位置している。熱帯収束帯の南北非対称性の成因については多くの仮説があるが、実際の理論・モデル計算に基づいたものは殆どない。最もらしい仮説の一つとして大陸分布の南北非対称性が古くから挙げられている。しかし、海陸分布の南北非対称性の最も大きいインド洋においては年中北半球に停滞する熱帯収束帯が観測されていない。また、太平洋の北半球にある収束帯が東西1万キロにも及び、中部太平洋のそれが直接に海陸分布に影響されることが考えにくい。気象学的には、ITCZが北半球にあるのは北半球のSSTが南半球よりも高いからと見ることができる。一方、海洋学的な立場からは北半球のSSTが高いのはITCZが北半球にあるからと推測できる。この鶏か卵かの議論はこの問題における大気海洋相互作用の重要性を示唆している。

図1に東部太平洋120Wで観測された水温南北断面と海面での風速分布を示す。海面水温は赤道で湧昇によって最小値を取るが、10Nと10Sで極大値を取る。北半球の極大値は南半球のそれよりも高い。湧昇、移流、鉛直混合と海面フラックスはSSTを決める主要な要素である。北半球の最大値のある所では南北流による移流効果がゼロになるので、10Nと10Sでの差を比べることとする。10NでThermoclineは

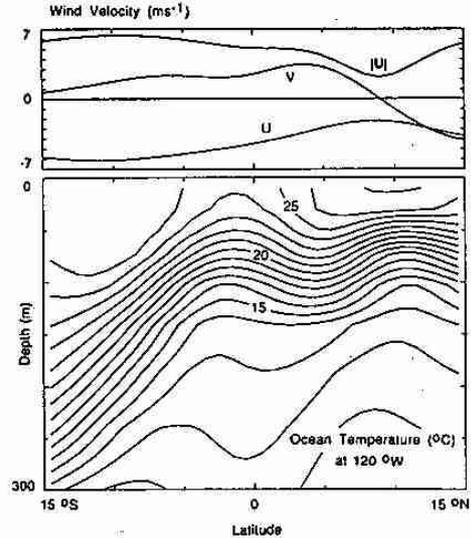


図1. 東部太平洋120Wにおける水温南北断面と風速分布

10Sよりも浅いので、ENSOで卓越するような $T \propto h'$ という熱力学はここでは重要ではない。一方、10NではSSTの東西勾配が弱く、10Sでは東西流速が小さいので東西移流効果もそれほど大きくない。従って、鉛直混合や海面フラックスのような局所的な熱力学過程がSSTの南北非対称性に重要となってくる。この両効果ともに風速に依存する。鉛直混合過程がより複雑なため、ここでは考えないことにする。

熱帯収束帯は熱帯無風帯としても知られている。それはITCZに収束する南風がコリオリ力によって偏東貿易風を弱めているからである。一方、この南風が南半球では逆に偏東風を強めている。その結果、ITCZの非対称性によって風速場に南北非対称性が生じる。この風速場の非対称性が海面潜熱フラックスを通してSSTの南北非対称性に繋がるのである。潜熱フラックスの重要性は以下の思考実験から明らかである。ITCZを支える高水温帯が赤道から海洋変形半径の数倍の距離離れているので、そこにおいて湧昇、移流といった海洋力学効果が小さい。従って海面の受ける放射フラックスと潜熱と釣り合わねばならない。風速の弱い北半球が南半球と同様な潜熱を出すには、SSTが高くならねばならないことになる。定量的には、南半球の風速が北半球の倍だとすると、SSTが北半球より11°Cも低いことがClausius-Clapeyronの式から分かる。

外部条件が南北対称な下で、大気、海洋大循環モデ

ルがそれぞれ南北対称な解を持つが、結合した大気海洋系において南北対称な状態が保たれるかどうかはここで考える問題である。

2. モデル

南北・深度方向の2次元モデルから3次元モデルまで、またLow-orderモデルから大循環モデルまでと様々なモデルから以下のものと同様な結果が得られているが、ここでは簡単な2次元モデルを中心に話を進める。詳しくはXie and Philander (1994)とXie (1995b)に参照されたい。

深さ h を持つ海洋混合層の温度方程式は

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c_p \rho h} [Q_s - Q_w - C_E U q_s(T)] \quad (1)$$

となる。ここで Q_s は海面での放射フラクス、 C_E は蒸発係数、 U は風速、 q_s は飽和水蒸気量でClausius-Clapeyronの式に従う。 Q_w は海洋力学効果によるもので、南北対称で赤道で最大となるような関数で赤道湧昇効果をパラメータ化する。

大気はGill-松野モデルを用いる。但し、対流による加熱はSSTがあるしき値(27.5°C)を越えている所でのみ起きる。

3. 結果

南北対称な太陽放射の下で、南北対称な解が存在する。この解はSSTが赤道で湧昇効果によって極小となっており、また両半球に一本ずつのITCZ($T > 27.5^\circ\text{C}$)を持っている(図1bの下部)。しかし、この対称解は微少擾乱に対し不安定である。その結果、南北非対称な擾乱が成長し、モデルが最終的に対流が片半球にしかない非対称解に遷移する。この南北非対称解において、SSTの半球極大値に2.5°C以上の差が見られる(図1bの上部)。(1)式から明らかなように、この結合モデルにおいて大気が海面蒸発を通してしか海洋に影響しないので、言うまでもなく蒸発の風速依存性がこの非対称解の維持に本質的に重要である。

赤道での南北風速に代表されるような南北非対称性の指数関数的な成長(図1a)は下記のWind-Evaporation-SST(WES)フィードバックによるものである。赤道の北に正、南に負という反対称SST anomalyは南風を起こす。この南風は北半球で偏東風および蒸発を弱め、初期の正のSST anomalyを強化する。同様な増幅効果は南半球でも起きている。このWES不安定の成長率が海洋混合層の深さの増加とともに減少し、またその成長率が正の所でのみ非対称定常解が存在する。この線形安定論の結果はITCZの南北非対称性が

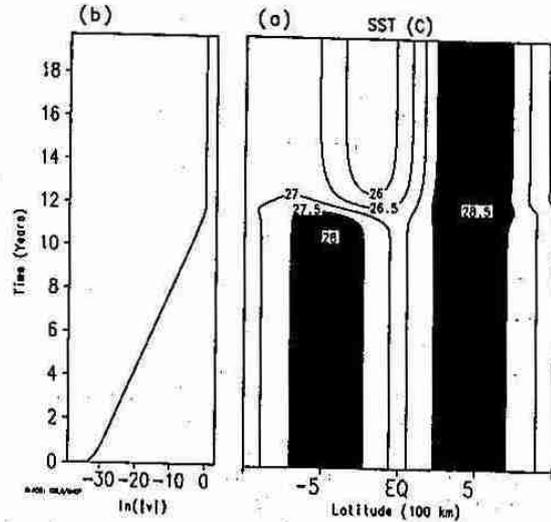


図2. a)赤道での南北風速の対数の時間発展; b)海面水温の緯度・時間発展(陰は $T > 27.5^\circ\text{C}$ の領域を示す)

海洋混合層の浅い東太平洋と大西洋で最も強いという観測事実と一致する。

4. まとめ

ア) 大気海洋結合系において南北対称な状態が不安定である。

イ) 赤道湧昇による冷却、浅い混合層はア)の条件である。

ア)は表題の問いに対する半分の答えに過ぎない。残りの半分、すなわち、なぜ南半球でなく北半球なのかに対する答えはこれからの研究に期待したい。

参考文献

PACS, 1994: A Scientific Prospectus. 28pp (available from Mike Wallace, JISAO, Univ. of Washington, Seattle, WA 98195).
 Xie, S.-P., 1995a: Ocean-atmosphere interactions in the mean climate of the Tropics. *Proceedings of the TOGA 95 Conference*, WMO.
 —, 1995b: Unstable transition of the tropical climate to an equatorially asymmetric state in a coupled ocean-atmosphere model. *Mon. Wea. Rev. special issue on coupled ocean-atmosphere models*, submitted.
 — and S.G.H. Philander, 1994: A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific. *Tellus*, 46A, 340-350.

4. 航空機観測による層状「氷雲」の内部構造

遊馬芳雄・菊地勝弘（北大院・理）・武田喬男・中村健治（名大・大気水圏研）

1. はじめに、

地球規模でのエネルギー収支に大きく寄与する層状性雲は、我が国においては、WCRP（気候変動国際共同研究計画）等で多く観測されてきているが、これまでは雲の扱いが比較的簡単な氷晶過程を含まない、いわゆる、「氷雲」についての研究が主であった。しかしながら、地球規模でのエネルギー収支を考える上で、上層雲に代表される氷晶過程を含む、いわゆる、「氷雲」の層状雲を研究する必要がある。氷雲の層状雲の内部構造や雲内の直接観測による雲物理過程の研究は航空機観測が始まったばかりの我が国ではまだまだあまりなされていない。そこで、名古屋大学大気水圏研究所特定研究経費大型研究「飛行機雲、巻雲など上層氷雲の発達・維持と大気環境におよぼす影響に関する研究」の一環として、1994年12月中旬から1月中旬にかけて名古屋空港を基地に航空機観測を行った。

観測では12月21日、28日、1月18日、19日の4ケースについて上層雲を含む層状雲の航空機観測を行うことができた。ここでは12月21日の観測例について報告する。

2. 観測機器

観測航空機として中日本航空（株）所有のB200（King Air）を用いた。観測機器は気象庁気象研究所所有の気温、露点計、PMSプロープ（FSSP, 2D-C, 2D-P）、ガストプロープ、King雲水量計、ライマンα水蒸気量計、放射計、赤外温度計である。ここでは、層状雲内の雲物理学の構造について報告する。

3. 観測フライト

1994年12月21日、紀伊半島潮岬南東約100km沖合いで観測を行った。目視によると雲頂高度は約7.1km、雲底高度は約1kmで、雲頂が比較的フラットな層状雲であった。観測は東西に測線を取り、高度7.7km、7.0km、6.2km、4.6km、3.1km、1.6km、0.8kmの7高度についてレベルフライトを行った。気温はそれぞれ-24℃、-28℃、-22℃、-10℃、-4℃、2℃、6℃であった。0℃の高度は約2.2kmであった。

4. 観測結果

PMSプロープで観測された1分毎の粒子の数密度分布を図1、2、3に示した。図1のFSSPプロープは1~47μm、図2の2D-Cプロープは50~800μm、図3の2D-Pプロープは400μm~6.4mmの粒子の数密度に相当する。FSSPプロープからの数密度は、雲頂付近の高度7kmと融解層の高度1.8km付近に数密度の極大が見られた（図1）。また、2D-Cプロープからの数密度は0℃層付近で極大となり（図2）、降水粒子のイメージは微水滴あるいは小さい氷粒子に相当していた。一方、2D-Pプロープからの数密度は高度5~6km付近で極大となり（図3）、降水粒子のイメージは1mm以下の単体で存在する氷粒子に対応していた。

各レベルフライトで観測された降水粒子のイメージは高度7.0、6.2kmでは雲粒放射樹枝、交差角板、角柱、角板、過冷却雲粒子がみられた。いずれの粒子も雪片を構成していなかった。高度4.6、3.1kmでは樹枝状雪結晶、雪片、角板、過冷却雲粒子が観測された。高度1.6kmでは気温が2℃となり、数は少ないが400~500μm程度の水滴が観測されていた。雪粒子が完全には融解せずに、大きな雪結晶はそのまま水滴に混じって存在している様子も観測された。更に、下層の高度0.8kmは雲底下にあり500μm程度の数密度は少な

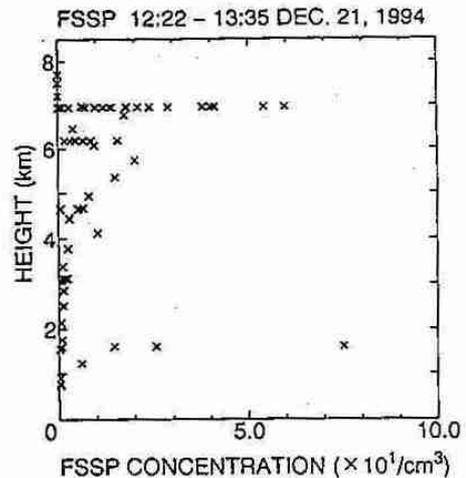


図1. FSSPプロープで観測された雲内粒子の数密度分布。

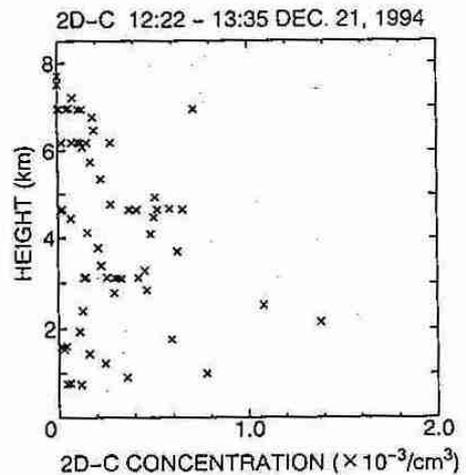


図2. 2D-Cプロープで観測された降水粒子の数密度分布。

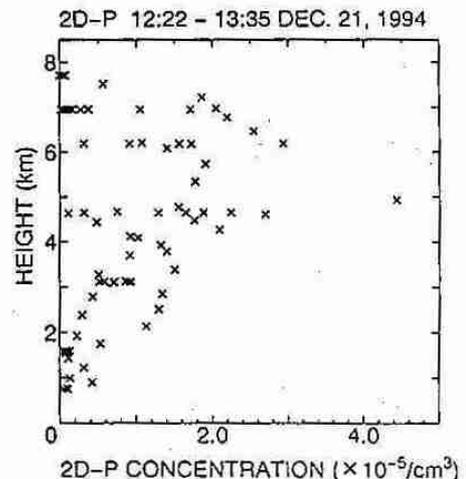


図3. 2D-Pプロープで観測された降水粒子の数密度分布。

いが大きな水滴が観測された。この層の気温は6°Cで、雪粒子はすべて融解していた。

図4に各高度でのPMSプローブからの降水粒子の粒径分布を示した。0°C層より上層では2D-Cプローブより全層にわたって200μm以下の粒子が多数存在し、2D-Pプローブから下層ほど大きい粒子が多く、数mm程度の雪片は気温が-10°C以上の高度4.6km以下で急激に形成されている様子が観測された。また、高度1.6kmは融解層内において、雪粒子は融解中で2D-Pプローブから数mmの粒子も観測された。一方、FSSPプローブより融解によって生じた47μm以下の微水滴も多数観測された。

5. まとめ

1994年12月中旬から1月中旬にかけて氷晶過程を含む層状雲の航空機観測を行い、12月21日に紀伊半島沖で観測された層状雲内の粒子の構造を解析した。観測した層状雲は雲頂高度が約7.1km、雲底高度が約1kmであった。2Dプローブから得られた雲内の降水粒子のイメージは雲頂付近では単体で存在している雪結晶が多く、高度が低くなるほど大きい粒子が観測され、気温-10°C以上の高度では多くの雪片が形成されている様子がみられた。0°Cの高度は約2.2kmでその高度より下層では雪粒子の融解過程も観測することができた。

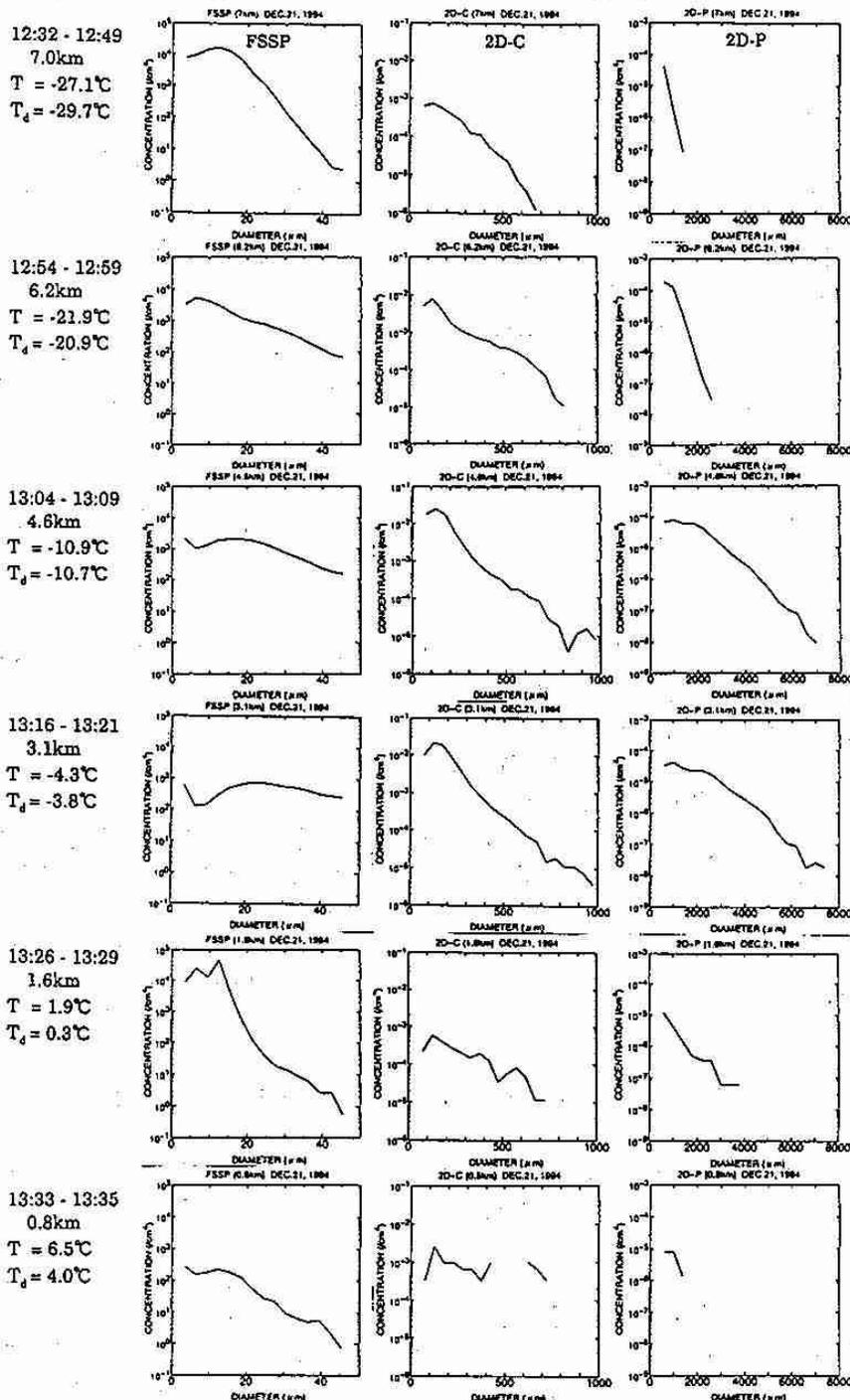


図4. FSSP、2D-C、2D-Pプローブで観測された降水粒子の粒径分布。(各レベルフライトの平均粒径分布を示す。)

5. UARS - CLAES データから検出された 下部成層圏赤道ケルビン波について

塩谷 雅人 (北大院・地球環境), J. Gille (NCAR),
A. Roche, J. Kumer (Lockheed Palo Alto Res. Lab.)

1 はじめに

1991年9月に米国で打ち上げられた Upper Atmosphere Research Satellite (UARS) は6種類の大気観測センサーを搭載して地球大気のグローバルなモニタリングをおこなった。このうち Cryogenic Limb Array Etalon Spectrometer (CLAES) は、赤外大気放射の観測から成層圏における気温、オゾンのほか、水蒸気、メタン、窒素酸化物等の全球分布を測定した。ここではこの CLAES 温度データを用いて、これまで測定手法の限界から十分な観測がなされていなかった下部成層圏について解析をおこなった。そして、これまで定点ゾンデ観測から断片的にしか知られていなかった下部成層圏赤道ケルビン波のグローバルな構造を、衛星データにもとづき初めて明らかにすることに成功したので報告する。

2 データ

以下の解析では1992年1月9日から1993年5月5日までの CLAES Version 6 温度データを用いた。データは東西波数6までのフーリエ係数が緯度4°おきに存在するかたちで全球マッピングされている。鉛直方向には $100 \times 10^{-(i-1)/6}$ hPa ($i = 1, 2, \dots$) を満たすような UARS 標準圧力面にデータが存在する。この間隔は CLAES の鉛直分解能 2.5 km とほぼ等しい。

3 ケーススタディ

図1は赤道上 68.1 hPa における温度場の帯状平均値からの偏差に関する時間・経度断面を示す。8月下旬頃から西太平洋域で正負のコントラストが強まり、その後約15日の周期で東西波数1の偏差が東進しているのがわかる。東進の傾向そのものはこの期間のはじめから見てとれる。また、偏差はどの経度帯でも同じ程度なのではなく、西太平洋域で大きい。

図2には赤道上における帯状波数1の COS 成分(経度0°における値)の時間・高度断面を示す。下部成層圏では、図1に見えている波動にともない鉛直波長約10kmで位相が時間的に下降(波の位相としては高さとともに

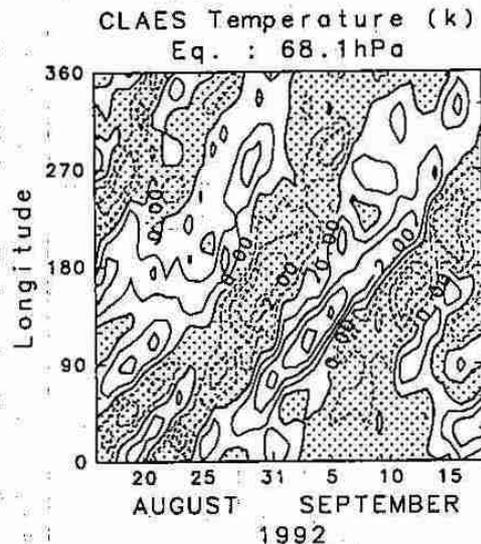


図1: CLAES 温度データにもとづく、赤道上 68.1 hPa における時間・経度断面図。帯状平均値は引いてある。コンター間隔は 1.0 K, 負の領域にはハッチ。

東傾) するような構造が見られる。時間的に下降する様子はこの期間を通してずっと見られるが、図1と同様に、8月下旬から構造がはっきりとしてくる。これらの特徴は理論的に予測されているいわゆる”遅い”ケルビン波の構造と一致する。中・上部成層圏ではさらに鉛直波長の長い、周期が10日程度の変動が見られ、これはいわゆる”速い”ケルビン波であると考えられる。

4 背景風との関連

つぎに時・空間スペクトル解析の手法を用い、ケルビン波の活動性を CLAES 観測全データ期間(約16ヵ月)にわたって調べた。90日を1単位として、約1ヵ月ごとずらしながら全部で14の期間についてスペクトル解析をおこなった(以下では波数1成分に限って話を進める)。14の期間を平均したパワースペクトル密度を赤道上で調べたところ、下部成層圏で周期が約2週間の”遅い”ケルビン波にともなうと考えられる東進成分がはっきり

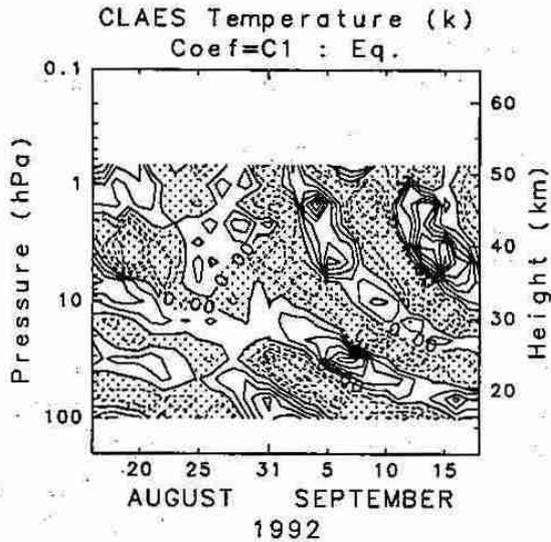


図 2: 帯状波数1のCOS成分(経度0における値)の赤道における時間・高度断面図。コンター間隔は0.5 K, 負の領域にはハッチ。

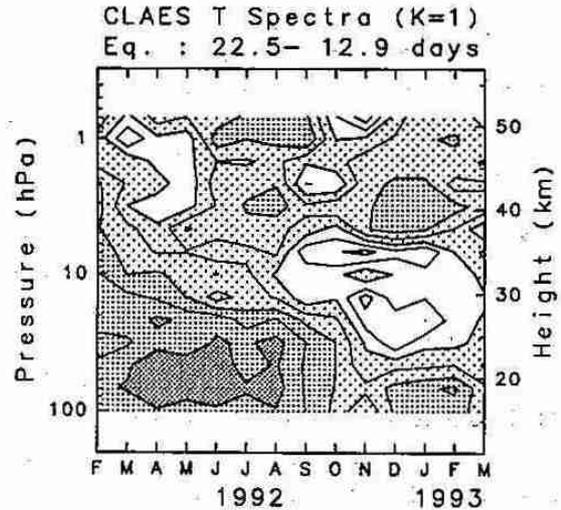


図 3: 周期 22.5- 12.9 日にわたって平均したパワースペクトル密度の時間・高度断面図。コンター間隔は $10^{1/2}$.

ととらえられた。

さらに約2週間の周期帯に注目してケルビン波の活動性の時間変動について調べた。図3は、各期間について周期22.5-12.9日にわたりパワースペクトル密度を平均し、時間と高さの断面で描いたものである。期間の前半、下部成層圏でスペクトル密度の大きな領域が見られ、それが期間の後半に向かって次第に小さくなっていくことがわかる。

シンガポールにおけるゾンデデータにもとづいて背景(東西)風との関連について見ると(図4): 1992年の前半には20-40 hPaを中心としたQBOの東風領域が見られ、この東風およびその上方にある西風領域は次第に下降してくる。そして、観測期間のおわり1993年前半になると下部成層圏において明瞭な東風領域はなくなる。すなわち、背景風の条件はしだいにケルビン波が伝播できないような状況になりつつあるといえ、スペクトル解析の結果(図3)もその特徴をよくあらわしている。

5 まとめ

この研究では、CLAESの温度データを用いた解析から下部成層圏赤道ケルビン波のグローバルな構造を明らかにした。さらに背景風との関連について調べたところ、ケルビン波の活動性がQBOと関連して変動する様子が明瞭にとらえられた。図1で見られるように、ケルビン波の構造は下部成層圏で比較的局在化した温度偏差からなっており、対流圏も含めた波の励起源に関する研究がさらに必要である。

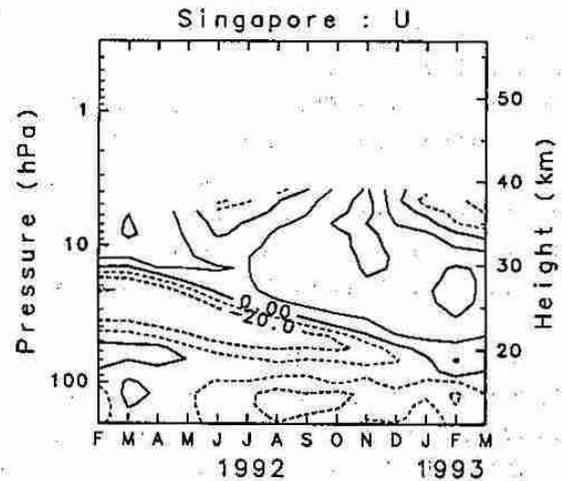


図 4: シンガポールにおける月平均東西風の時間・高度断面図。コンター間隔は 10 ms^{-1} が単位となっている。

6. カナダ北極圏で行われた B A S E (Beaufort and Arctic Storms Experiment) プロジェクト

菊地勝弘・遊馬芳雄・上田 博・岩田総司・島村泰介(北大院・理)
木村竜治・坪木和久(東大・海洋研)

D. R. Hudak, R. E. Stewart(A. E. S., Canada), G. W. K. Moore(U. of Toronto, Canada)
E. T. Hudson(A. E. S., Canada)

1. はじめに、

カナダ北極圏、Beaufort海、及び、Mackenzie Delta付近を対象として、1994年9月1日から10月15日までB A S E(Beaufort and Arctic Storms Experiment)プロジェクトが行われた。このプロジェクトは初めてカナダ北極圏で行われた総合的なメソスケール現象を主眼においた観測プロジェクトである。カナダ北極圏ではBeaufort海が完全に結氷する前の9月から11月にかけて、多くのストーム(極域擾乱)がBeaufort海周辺、Mackenzie Delta周辺を通過し、強風と多くの降水をもたらすことが知られている。しかし、このストームに対する理解は十分ではなく、これまでこの種の極域擾乱を対象とするメソスケールの観測研究プロジェクトは行われていない。また、極域は地球規模での気候学、水収支、エネルギー収支を考える上でも重要な役割を果たす。したがって、B A S Eでは秋季にこの地域で発生、また通過するストームのシノプティックスケール、メソスケールでの構造を理解するとともに、極域の水、エネルギー収支を理解することを目的としている。

2. 観測体制

図1はB A S Eプロジェクトの観測対象域である。観測対象域はユーコン準州の北部とノースウエスト準州西部に位置し、この領域は北部にBeaufort海、南部にMackenzie川の低地帯、Mackenzie Deltaと南西部にロッキー山脈に続くRichardson山脈が位置している。B A S EプログラムではTuktoyaktukに北大理学部の偏波ドップラーレーダーを、そこから南へ約100kmのInuvikにトロント大学のドップラーレーダーを設置した。また、カナダNational Research CouncilのConvair 580を用いて航空機観測も行われ、Inuvik、Tuktoyaktuk、Norman Wells、Whitehorseでは高層データの強化観測が行われた。

3. B A S E I O P s

図2にB A S E期間中、Inuvikでの降水量の時系列とI O P(Intensive Observation Period)を示した。B A S E期間中の総観場はBeaufort海北部と太平洋のアラスカ湾にほぼ定常的に強い低気圧が存在していた。I O Pは観測期間中13回あり図上部に横線で示している。また、擾乱をもたらした総観場の特徴をアルファベットで示している。'S'は(極前線上での)擾乱の通過に伴うもの、'P'はアラスカ湾沖の低気圧から生み出される(spawn)擾乱の通過に伴うもの、'A'は極高気圧(Arctic High)に伴うもの、'C'は寒冷低気圧(Cold Low)に伴うものである。

この間、北大理学部偏波ドップラーレーダーは9月13日から10月11日までデータをとることができた。レーダー観測から全体的にいえることは、レーダー反射因子が弱く、一般にエコー頂が低く、擾乱に伴うエコーでも4-5km程度であり、吹き出しの場でのエコー頂は2-3km程度であった。また、レーダーエコーが鉛直方向に2層構造をしている場合が多く、上層からの降水が地上付近でレーダー反射因子が急速に増強されることが観測された。また、概して、風速が強く、鉛直シアも大きかった。降水粒子の落下に伴い、鉛直シアによってふるい分けされている様子も観察された。そして、レーダー反射因子が弱いにもかかわらず、降水をもたらす機会が非常に多いことも特徴として挙げられる。

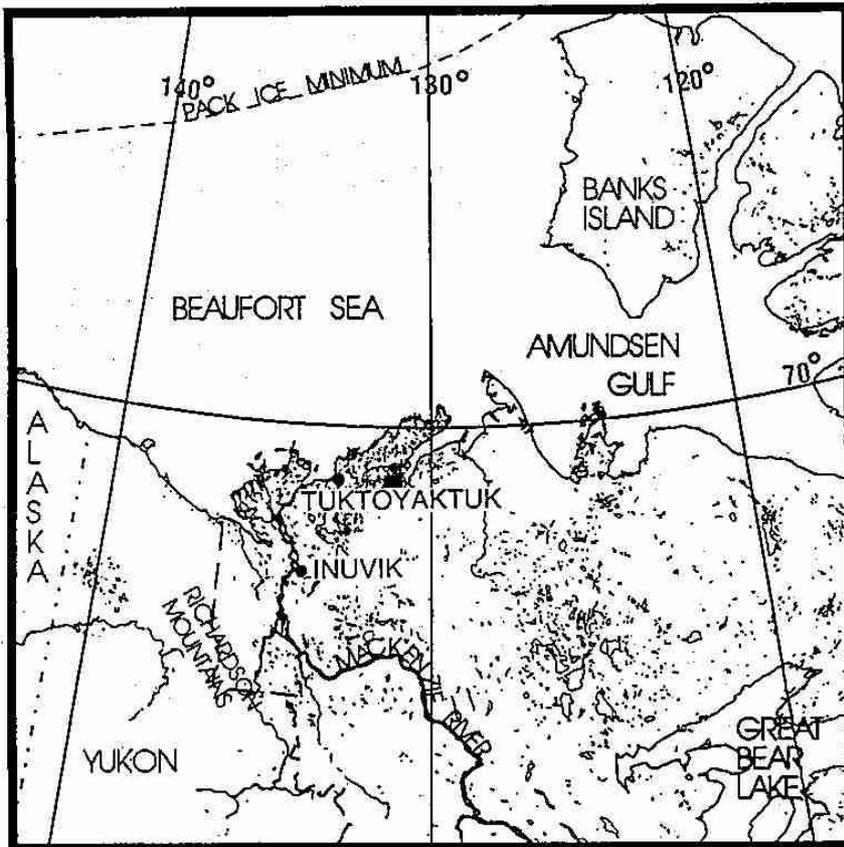


図 1. B A S E 観測対象領域.

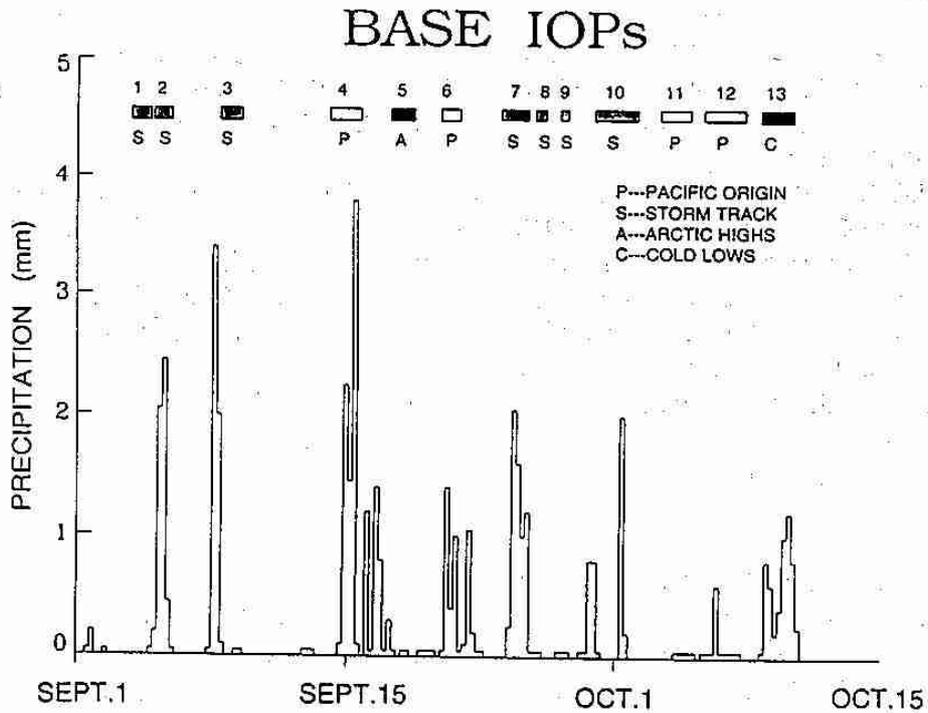


図 2. Inuvikでの降水量と集中観測期間(IOP).

7. BASE期間中に観測された 強いシアアを伴う極域擾乱システムの構造

岩田総司・遊馬芳雄・島村泰介・菊地勝弘・上田 博 (北大院・理)
木村竜治・坪木和久 (東大・海洋研)

1. はじめに

BASE (Beaufort and Arctic Storms Experiment) 期間の1994年9月1日から10月15日にかけて、カナダ北極圏のBeaufort海に面するカナダノースウェスト準州Tuktoyaktuk(北緯69度27分、西経133度02分)に北大理学部の偏波ドップラーレーダーを設置し、極域擾乱の構造を解明する目的でレーダー観測を行った。

BASE期間中、Pacific Originと分類される擾乱が4回観測され、この擾乱はカナダ北極圏における極域擾乱システムの典型的なものと考えられる。そこでこの現象に注目し、その一例として9月15日から16日にかけての事例の解析結果を報告する。

2. 総観場

図1にカナダ北極圏における9月15日から16日にかけての地上天気図を示す。アラスカ湾に低気圧、Beaufort海北部に低気圧が定常的に存在し、BASE観測領域はこの2つの低気圧に挟まれた北極前線の近傍に位置していた。15日12UTCにアラスカ湾の低気圧から低圧部が産み出され (spawnされ)、16日00UTCから12UTCにかけて北極前線を取り込む形で発達しながら、レーダーサイトの南を北東進していった。このような極域擾乱はPacific Originの擾乱と分類される。地上解析図と500hPa解析図を比較すると、Beaufort海北部にある低気圧は500hPaで強く地上で弱い一方、アラスカ湾の低気圧は、地上で強く500hPaで弱かった。またspawnされた低気圧は500hPaの解析図には現れていなかった。

3. レーダー観測と解析結果

この一連の擾乱システムの通過に伴い、15日12UTCから16日14UTCまでレーダー観測を行った。この間断続的に層状のレーダーエコーがサイトの上空で観測された。図2に、上空のレーダーエコーの時間高度断面を示す。15日12UTCには上空にだけエコーが存在していたが、spawnされた低気圧の接近に伴い観測されたレーダーエコーは下がっていった。低気圧の通過後、上層と下層にレーダーエコーが存在し、2層構造を呈し始めるようになり、その境界には強いシアア層が存在していた。この間、観測されたレーダー反射因子は20dBZ程度と弱く、エコー頂も4km程度と低いものであった。一方、風速は強く、下層ほど強いのが特徴的であった。

図3はVAD法によって求めた、この擾乱システムの通過に伴う上空の風の場の変化である。上層では常に弱い南風が吹いており、下層ではspawnされた低気圧の影響を受け、通過前は東風、通過後は北風と変化していった。風速6m/sのコンターの付近が前線面に相当していたと考えられる。

得られたレーダーエコーと風の場との関係を見ると、spawnされた低気圧の通過前は前線面より上空にだけレーダーエコーが存在していたが、それより下層では大陸からの乾いた東風が侵入していたので、上層からの降水は地上に到達するまでに蒸発していたと考えられる。その後の低気圧の接近に伴い前線面は下がり、低気圧の通過後再び上昇し、下層に北のBeaufort海からの湿った空気が侵入するようになった。下層には強いエコーが観測されるようになるが、これは上層の弱い降水が下層まで到達したために、下層のエコーが強化されたためであると考えられる。

4. まとめ

カナダ北極圏に擾乱をもたらすPacific Originと分類される極域擾乱システムの構造を解析した。アラスカ湾に定常的に存在する低気圧からspawnされた低圧部が、北極前線を取り込む形で発達してこの擾乱がもたらされた。レーダー観測や高層データ等の総観的な解析などから、強い鉛直シアアと2層構造を伴っているこの極域擾乱システムの構造を明らかにした。この種の極域擾乱は、カナダ北極圏の降水機構、降水分布を理解する上で非常に重要であると考えられる。

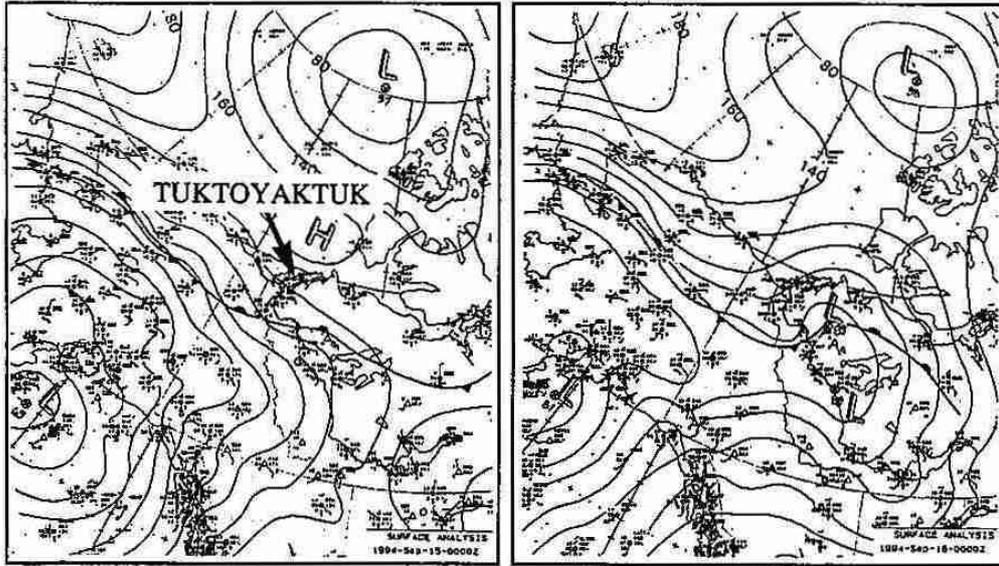


図1 地上天気図。
(左) 9月15日00UTC, (右) 9月16日00UTC.

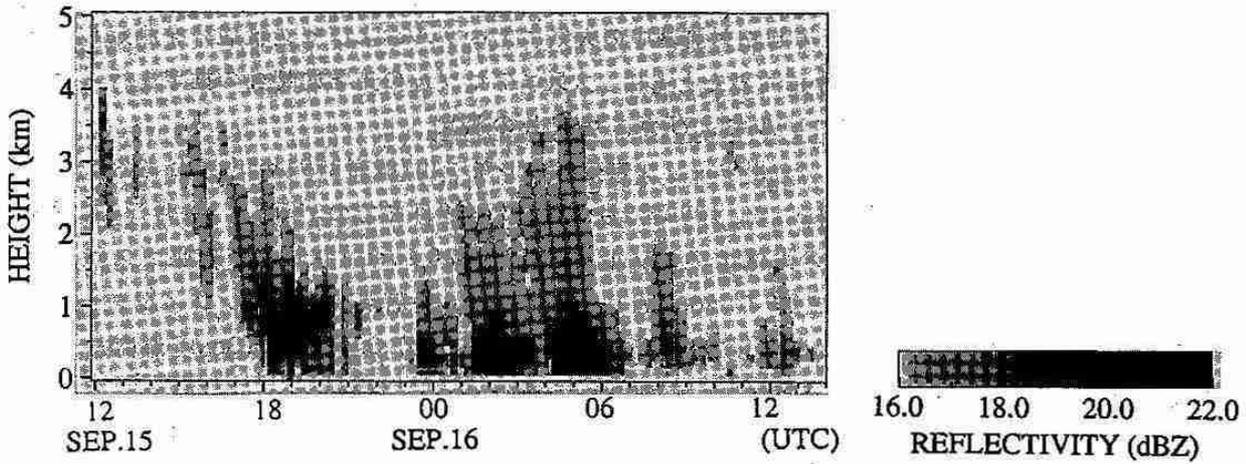


図2 仰角10度のPPIの反射強度のデータから求めた、反射強度の時間高度断面図。

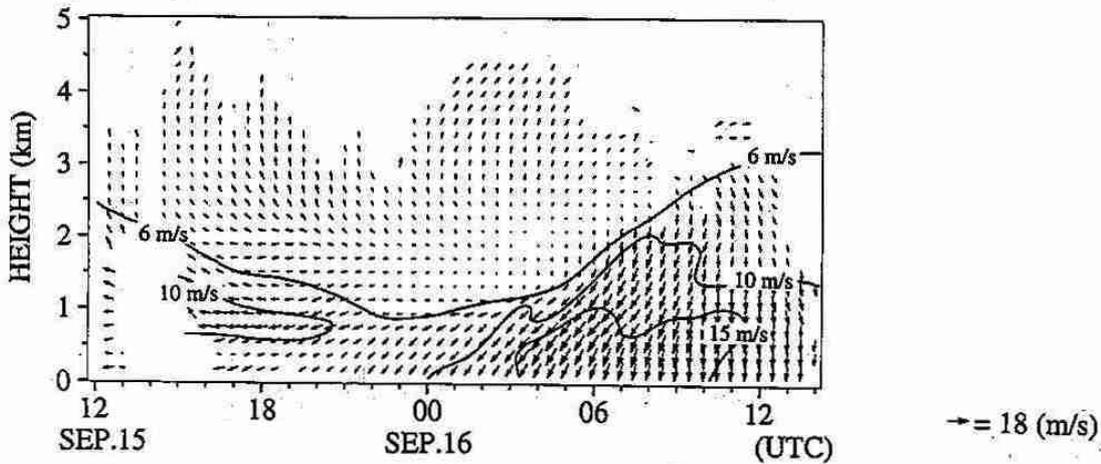


図3 仰角10度のPPIのドップラー速度のデータからVAD法を用いて求めた、水平風の時間高度断面図。実線は風速のコンターを表している。

8. アリゾナ大気エアロゾルの成分分析

堀 雅裕・太田幸雄・村尾直人 (北大・工)

1. はじめに

大気エアロゾルは、CO₂などの温室効果気体と同様、地球の熱収支を決定する重要な働きをしている。温室効果気体が長寿命で全球的に均一に分布しているのに対し、大気エアロゾルは寿命が短いために空間的また時間的に不均一な分布をもつ。そのため大気エアロゾルの気候形成に及ぼす影響を評価するためには、全球規模での観測を長期的に行い、各地でのエアロゾル濃度、組成を明らかにしなければならない。これまで本研究室では、都市域として札幌・東京、郊外地域として北海道ニセコ山麓などの他、バックグラウンド地域として北極圏アラスカにおいて、大気エアロゾルを通年観測し、それらの地域におけるエアロゾルの濃度および組成を明らかにしてきた。これらの研究により大気境界層内の大気エアロゾルの分布および組成は徐々に明らかになりつつある。一方大気境界層より上空の自由対流圏や成層圏における大気エアロゾルは、これまで一時的な航空機や気球による観測以外、行われてこなかった。そこで、本研究では、米国アリゾナ州のレモン山山頂において2年間にわたり自由対流圏中の大気エアロゾルおよびガス状成分を測定し、その濃度、組成の季節変動を明らかにするとともに、大気エアロゾルの光学的特性の推定を行った。

2. アリゾナにおける大気エアロゾルおよびガス状成分の測定

測定は、アメリカ合衆国アリゾナ州ツーソン市郊外のレモン山(標高2791m)山頂にあるアリゾナ州立大学附属宇宙線観測所において、1992年9月から1994年9月までの2年間、1ヶ月ごとに行った。捕集対象は、粒径2 μm以下の大気エアロゾル(採気流量20 l/min)および前駆ガス状成分(SO₂, HCl, HNO₃, NH₃; 各流量7 l/min)とし、エアロゾルを石英、テフロンフィルターで、ガスを試薬含浸る紙で捕集した。捕集したサンプルから、黑色純炭素(E.C.)・有機物(Org.)を燃焼法、

SO₄²⁻・NO₃⁻・Cl⁻をイオンクロマトグラフィー、NH₄⁺をインドフェノール比色法、Na⁺・Ca²⁺・Mg²⁺を原子吸光法、土壌(Si)をPIXE分析法にてそれぞれ分析した。また、ガス状成分はSO₂・HClをイオンクロマトグラフィー、HNO₃をヒドラジン比色法、NH₃をインドフェノール比色法にて分析した。図1にレモン山山頂にて捕集した自由対流圏エアロゾル各組成成分の質量濃度の経月変化を示す。

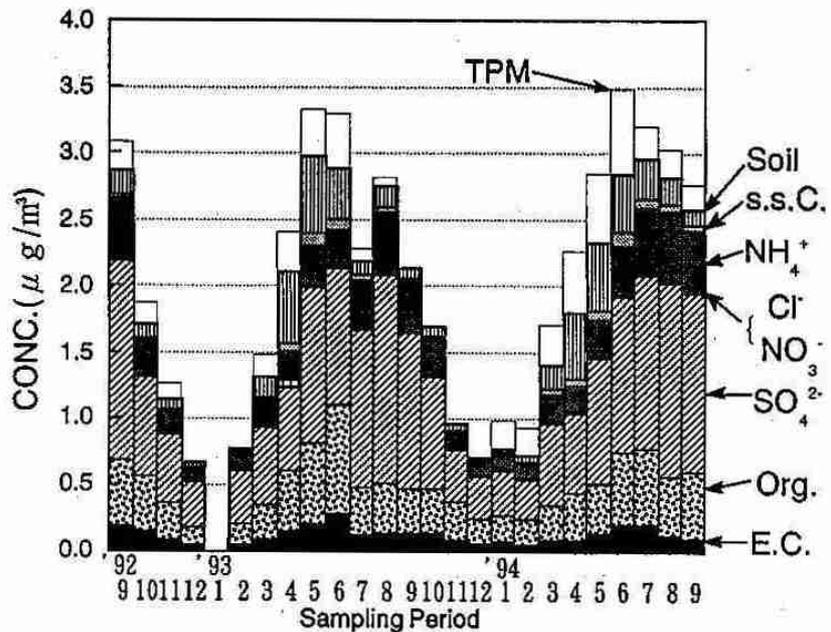


図1 アリゾナ自由対流圏エアロゾル組成の経月変化
s.s.C.は海塩起源陽イオン,TPMは総重量濃度を示す

捕集総重量濃度 (TPM) は0.6~3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、札幌のような都市部の10分の1、アラスカの1~2倍程度の低濃度であることが分かる。全体的に2年間通して夏季に増加し冬季に減少する傾向を示した。特に全体の26~55%をしめる SO_4^{2-} 成分がその傾向を顕著に示している。また、E.C., Org.も同様の傾向を示し、 SO_4^{2-} を含めた3成分で全体の46~84%を占めた。このことから、地上へ到達する太陽放射量が増加する夏季に、大気境界層が上空まで発達し、また積雲対流が活発化することによって、都市大気中の汚染物が自由対流圏中まで鉛直輸送

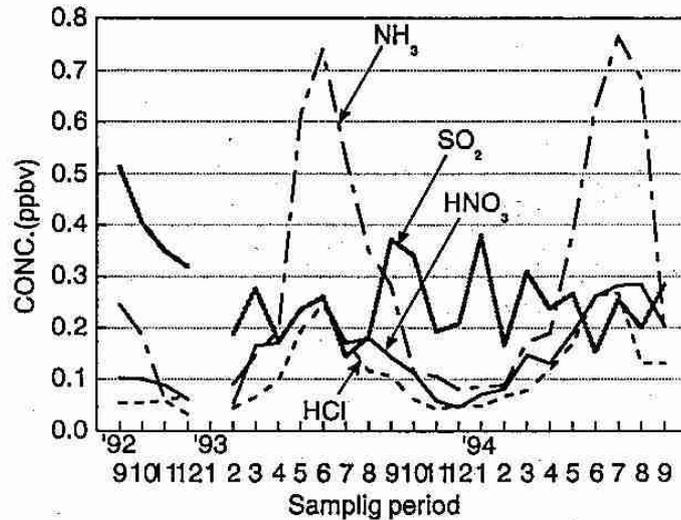


図2 アリゾナ・レモン山頂における自由対流圏中のガス成分濃度の経月変化 ($\text{SO}_2, \text{HCl}, \text{HNO}_3, \text{NH}_3$)

されていることが推測される。また、この地域は半乾燥地域であり、夏季に森林火災も多発する。その影響で5~7月は煤粒子(E.C., Org.)が多くなっている。次にガス状成分濃度の経月変化を図2に示す。図2より、 SO_2 ガス以外は、エアロゾルと同様に夏季に増加する傾向を示していることが分かる。 NH_3 ガスは、山頂付近の生物起源から、 HNO_3 、 HCl ガスは大気境界層内の都市大気が流入したものと考えられる。一方 SO_2 ガスは、年間を通じて明確な傾向を示していない。これは SO_2 ガスから SO_4 への酸化速度が気温に依存し、 SO_2 ガスの多くが気温の高い夏に硫酸塩粒子化しているためであると考えられる。 SO_2 ガスと SO_4 粒子を合わせた全S量では、夏に極大を示しており、これからも夏季に都市大気の流入があることが分かる。

3. アリゾナ・レモン山山頂における自由対流圏エアロゾルの光学的特性

自由対流圏エアロゾルの光学的特性を考えるに当たり、その存在形態として以下の3つのシナリオを考慮し、体積消散係数(σ_{ext})、体積散乱係数(σ_{sca})および単一散乱アルベド($\omega = \sigma_{sca} / \sigma_{ext}$)を算出した。シナリオA; すべての成分は均質粒子として存在する。シナリオB; E.C.と $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ はその質量の半分が混合粒子として存在し、残りの半分とその他の成分は均質粒子として存在する。シナリオC; E.C.と $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ のすべてとOrganicsの一部が混合粒子として存在し、その他の成分は均質粒子として存在する。図3に ω の算出結果を示す。太陽放射エネルギーの最も強い可視領域(波長 $0.5 \mu\text{m}$ 前後)で、 $\omega = 0.9$ 前後の大きな値を取り、かなり散乱割合の大きいことが分かる(一般に都市大気中では、 $\omega = 0.7$ 前後である)。このように自由対流圏エアロゾルは、硫酸塩を主成分とした散乱性の強いエアロゾルであることが分かった。

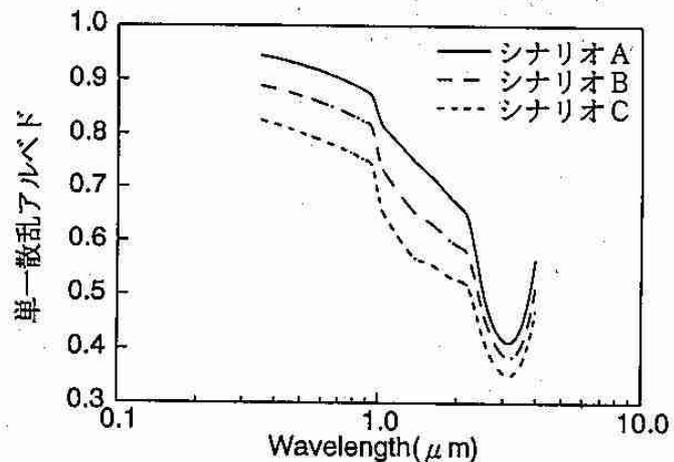


図3 自由対流圏エアロゾルの存在形態の違いによる単一散乱アルベドの変化

9. 航空機を用いたSO₂, 硫酸塩の高度分布測定法の問題点

北海道大学工学部 萩原 研二, 太田 幸雄, 村尾 直人, 山形 定

1. はじめに

大気中でSO₂が酸化される反応場としては、主に気相と液相の均一系が考えられる。このうち気相均一系では主にOHラジカル、液相内（雲粒、霧、雨）での液相均一系では、過酸化水素、オゾン、遷移金属イオン（触媒反応）により酸化される。しかしながら、この液相内でS(IV)の酸化反応がどの程度の速度で進行しているかについては、これまで十分に考慮されておらず、今後の重要な研究課題である。この液相内における酸化反応を明らかにするためには、SO₂, SO₄²⁻濃度が、雲底下と雲頂上でどの程度変化しているかを明らかにする必要がある。

今回の観測では、航空機にサンプリングシステムを搭載し、大気中のSO₂, SO₄²⁻濃度の高度分布、あるいは雲底下、雲頂上における両成分濃度の測定と共に、測定の可能性について検討する。

2. サンプリングおよび分析法

2.1 航空機観測の概要

航空機（ダイヤモンドエアサーブス社所有、MU-2）でのサンプリング系を図1に示す。大気中のSO₄²⁻エアロゾルは、1段目のテフロンフィルター（住友電気AF07P, 24mmφ）で、SO₂ガスは、2段目の炭酸ナトリウム含浸濾紙（ADVANTEC東洋51A, 55mmφ）で捕集する。観測期間は、1994年10月3～9日で、そのうち積雲が発生した10月3, 4, 9日の計3回観測を行った。観測場所は、紀伊半島沖合における清浄大気である。

10月3, 4日は、A側を低高度（高度が4km以下）における測定用、B側を高高度（高度が4km以上）における測定用とした。また、10月9日は、A側を雲底下、B側を雲頂上とした。

2.2 サンプルの抽出、分析法

テフロンフィルターは超音波洗浄器を用い、イオン交換水5mlで抽出した。炭酸ナトリウム含浸濾紙は、0.01%過酸化水素水溶液10mlで抽出した。それぞれの抽出液をイオンクロマトグラフィーで分析した。低濃度SO₄²⁻分析のためにインジェクション部分にコンセンレーターを取り付けサンプルを濃縮して分析した。

3. 測定結果および考察

3.1 SO₂ガス検出限界

図2にイオン交換水、SO₂ガスのサンプリングに用いた炭酸ナトリウム含浸濾紙のブランクの抽出液、ブランク抽出液にSO₄²⁻標準溶液を添加したもの、および航空機サンプリングで得られたサンプルのイオンクロマトグラムを示す。

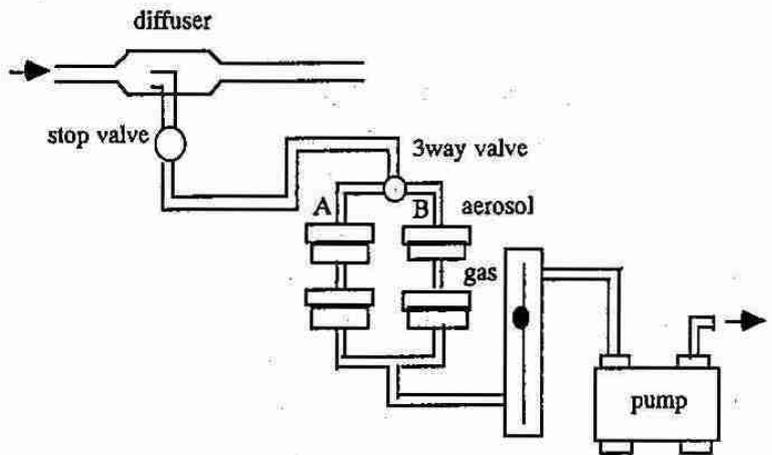


Fig.1 Schematic diagram of sampling system in aircraft for sulfate aerosol and sulfur dioxide gas.

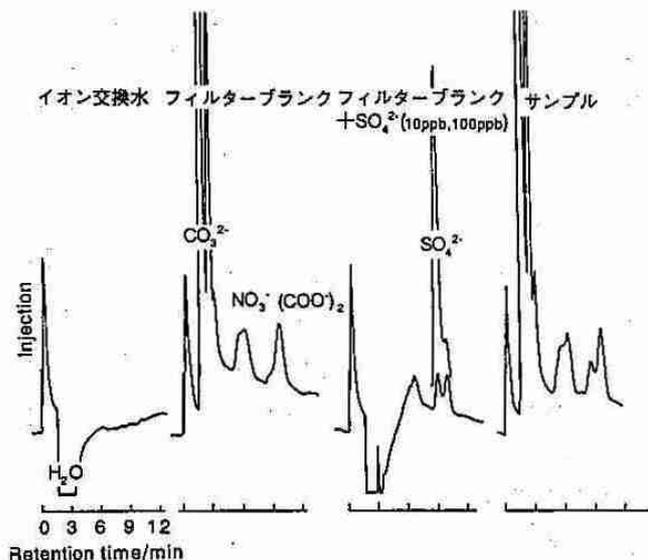


Fig.2 Ion chromatogram of extracted solution.

(a):ion exchanged water;(b):filter blank;
(c):(b)+sulfate solution(10ppb,100ppb);(d):sample

この結果より炭酸ナトリウム含浸濾紙作成時にSO₄²⁻イオンをどこまで除去できるかが、大気中のSO₂濃度測定にとって重要であることが分かる。SO₄²⁻ブランクをなくし、イオンクロマトグラムの安定したベースが得られれば、溶液濃度で1ppb程度の分析が可能になると期待できる。これは1m³サンプリングし、10mlに抽出した場合大気濃度2.3pptvに相当し、Ferekらの報告している6m³のサンプリングで3pptvの検出限界(Ferek et al.,1991)を越えるものである。コンセントレータで濃縮を行っていることが検出限界を向上させるのに大きく寄与していると考えられる。

3.2 航空機観測結果

航空機観測で得られたサンプルの分析結果を表1に示す。

Table.1 The concentration of SO₂ gas and SO₄²⁻ aerosol in maritime troposphere

date	filter holder	sampling volume(L)	sol'n conc.(ppb)	atmospheric conc.	remark	
10/3	A	SO ₄ ²⁻	1000	420	2.1 [μg so ₄ ²⁻ /m ³]	高度4 km以下
		SO ₂	1000	70	165 [pptv]	
	B	SO ₄ ²⁻	1120	60	0.3 [μg so ₄ ²⁻ /m ³]	高度4 km以上
		SO ₂	1120	5	10 [pptv]	
10/4	A	SO ₄ ²⁻	—	—	—	セッティング不良
		SO ₂	—	—	—	
	B	SO ₄ ²⁻	1150	—	—	PIXE分析
		SO ₂	1150	5	10 [pptv]	高度4 km以上
10/9	A	SO ₄ ²⁻	330	380	5.8 [μg so ₄ ²⁻ /m ³]	雲底より下
		SO ₂	330	5	35 [pptv]	
	B	SO ₄ ²⁻	290	20	0.3 [μg so ₄ ²⁻ /m ³]	雲頂より上
		SO ₂	290	5	40 [pptv]	

10月4日のホルダーAはテフロンフィルターのセットが不完全であったためサンプリングできなかった。10月4日のホルダーBのSO₄²⁻はPIXE分析を行ったためイオンクロマトグラフィーによる分析は行えなかった。(PIXE分析からは明確な結果は得られなかった。)

10月3日、4日のサンプルは高度4kmより下(ホルダーA)、上(ホルダーB)で晴天域でサンプリングを行い採気量は1000ℓ程度になっている。一方、10月9日のサンプルは雲底下(ホルダーA)、雲頂上(ホルダーB)でのみサンプリングを行ったため採気量は1/3になっている。

大気濃度として得られた値は、SO₂ガスが10pptv~165pptv、SO₄²⁻が0.3~5.8μg SO₄²⁻/m³とこれまで海洋上の対流圏で報告されている値(Ferek and Hegg, 1993; Luria et al, 1989)と比較して妥当な値が得られた。しかし、10月3、4、9日いずれのサンプルでもB側のSO₂の抽出溶液濃度が5ppbとなっている点に注意を要する。このサンプルがフライトの最初のサンプルであることを考えるとストップバルブ-フィルター間に残存していた地上空気の可能性もある。したがって、サンプリングを行う場合にはフィルターに至る全ての部分をサンプリング前に排気する必要があると考えられる。

4. まとめ

フィルターパック-イオンクロマトグラフィー法(FP-IC法)によって海洋上の自由対流圏大気中のSO₄²⁻エアロゾル、SO₂ガス濃度を測定し、これまで報告されている値と比較して妥当な値が得られた。

FL-IC法の検出限界はイオンクロマトグラムのベースラインの安定性とフィルターブランク中のSO₄²⁻濃度に大きく依存している。両者を最適化すれば、1m³の大気をサンプリングし10mlで抽出を行った場合には、大気中の測定限界として数pptvまで下げることが可能である。また、サンプリングを行う際にはストップバルブ-フィルター間に残存していた地上空気を排気する必要があると思われる。

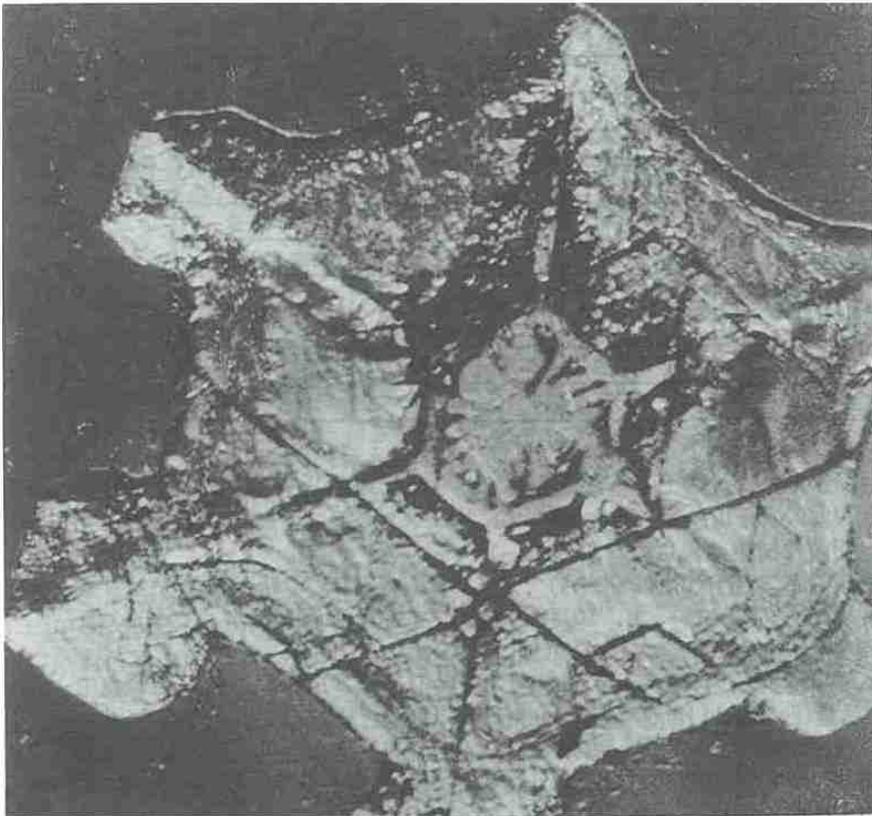
(参考文献)

- Ferek,R.J.,Hegg,D.,Herring,J.A.,andHobbs,P.V., 1991: An improved filter pack technique for airborne measurement of low concentrations of SO₂. J.Geophys.Res.,96,22373-22378.
- Ferek,R.J.,Hegg,D., 1993: Measurements of dimethyl sulfide and SO₂ during GTE-CITE3. J.Geophys.Res.,98,23435-23442.
- Luria,M., Valin,C.C.V., Galloway,J.N., Keene,W.C., Wellman,D.L., Sievering,H., and Boatman,J.F., 1989: The relationship between dimethyl sulfide and particulate sulfate in the mid-atlantic ocean atmosphere. Atmos.Environ.,23,139-147.

10. 雪と氷のCRACKについて

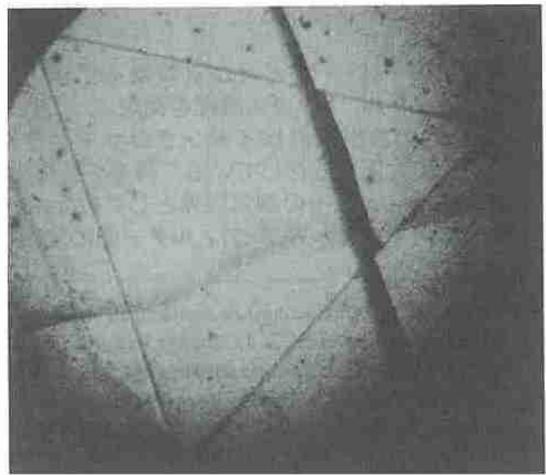
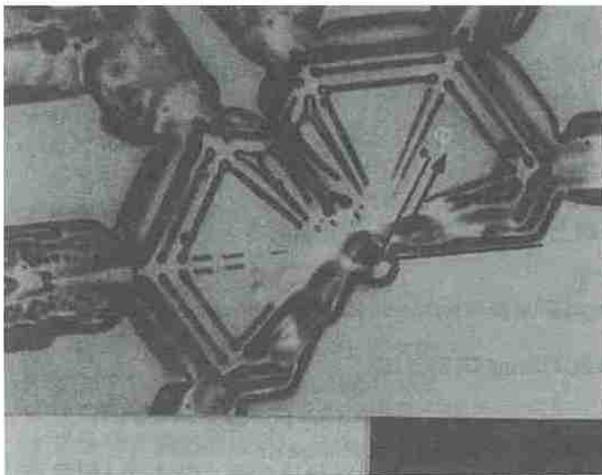
北教大(岩) 志尾 彌

予論 吹雪時の雪片の電荷は破壊していない結晶の約100倍も有る。この原因を
解明するために雪・氷のCRACKの結晶的特性を調べた。



結果、図-1は亀裂が入った雪結晶である
亀裂の結晶方位は
 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ である。
-35℃以下の大気中
で発生した。

図-2は破壊した雪片
で、破壊面方位は
 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ である。



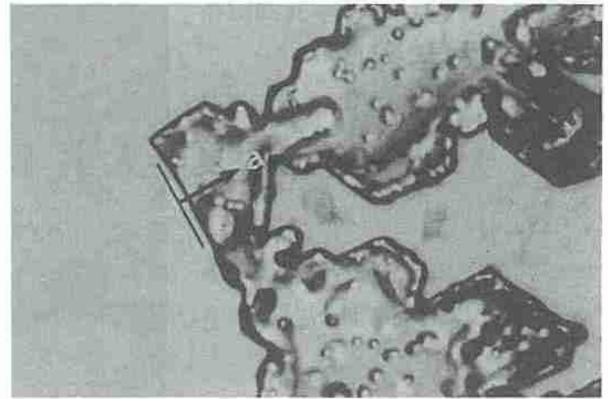
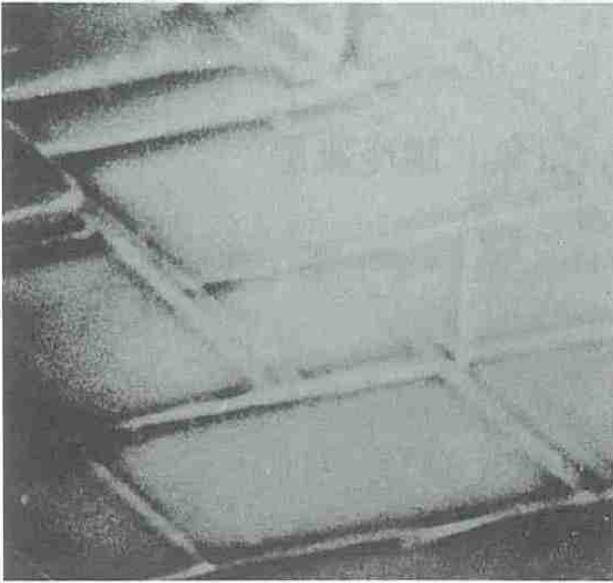


図-3は熱歪を加えて単結晶氷の
(0001)面に生じた亀裂である。

方位は $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ の他に $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ で
(0001)面に対して垂直でなく傾いている。

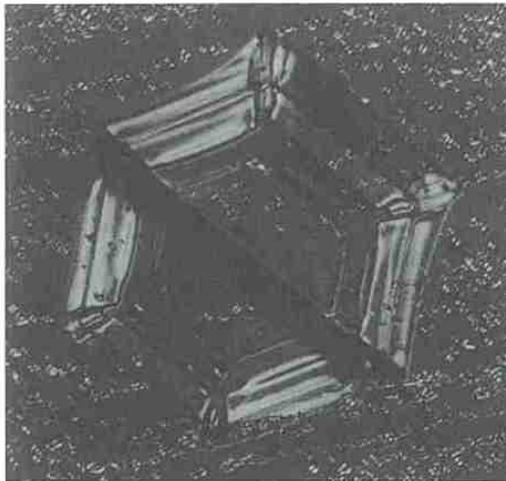


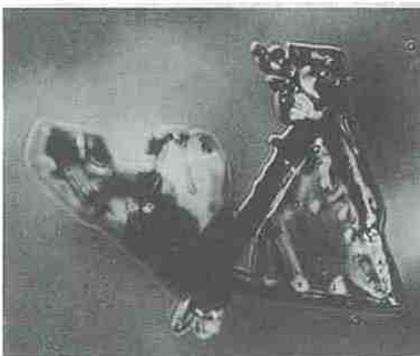
図-4は転位の移動した跡である。

その方向は $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ である。

図-5、6は新しい生長が破壊面から始まっている。

図-6は破壊面が $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ をしている。

雪結晶ではこの様な破壊面をしたものは少ない。



—夏季大学雑感—

第13回夏季大学『新しい気象』講座雑感

(財)気象協会北海道本部 若林徳司

第11回の講座雑感の中で『新しい気象』というテーマにあまり拘らずにタイムリーで、かつ判りやすい話題の提供を心掛けていくという方向性を記述したことを記憶されている方も多いかと存じます。

その観点から見ると今年の講義内容は気象、地象、天文及び気象予報士制度の紹介とバラエティーに富んでいると言えます。

しかし、講座で使用するテキストの題は、気象講座『新しい気象』と銘打ってあります。従って、次回からは気象の講義(話題)を多くする必要性があると強く感じたところです。

さて、第13回夏季大学の特徴は

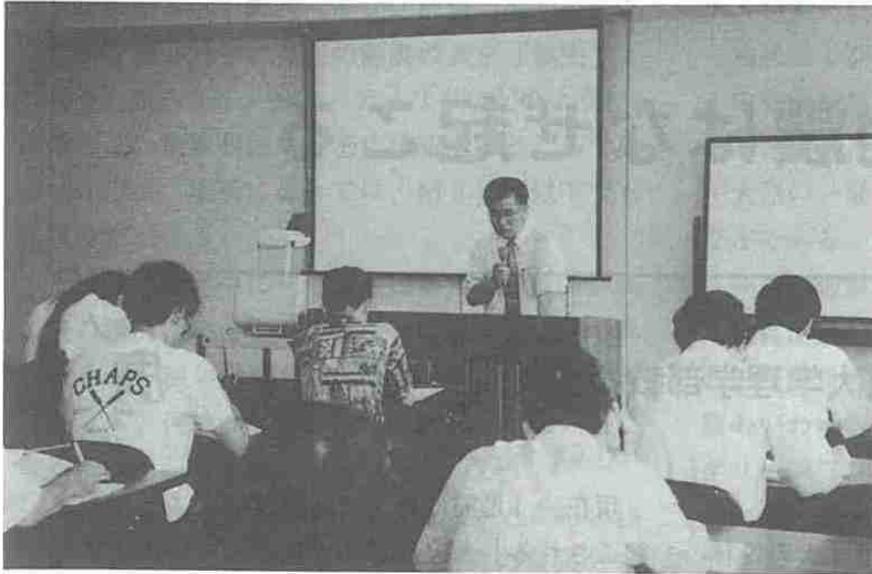
- ①中学生からご年配の方と幅広い年齢層の参加が得られたこと。(講義の内容にもよる)
- ②普段、大学ではなかなか聞かれない、岡田廣先生(北海道大学理学部教授)の講義ということで、大学生の参加が例年になく多かったこと。
- ③子供たちの理科離れに歯止めをかけようと努力されている小中学校の先生(教諭)の姿が多く見られたこと。

以上、3点が挙げられます。また、この講座のもう一つの特徴として、例年、施設の見学会を実施しています。今年は4年振りに札幌管区気象台の見学を予定したところ参加者50名全員が希望され、新しい地震観測システム及び地域時系列予報のシステムを見せていただいた。各講座においても、ある程度の予備知識のある受講生が多いせいか、活発な質問があり、また、見学会においても施設のご案内をいただいた、札幌管区気象台業務課広報係の諸氏も質問攻めに汗だくの対応であったことは、講座を主催する側にとっては喜ばしいかぎりであります。

ところで、今年の夏は昨年ほど暑い夏ではありませんでしたが、会場の狭隘いと暑さ対策は一工夫をする必要があると思われまふ。しかし、少ない予算と運営方法からいってなかなか妙案が浮かばないのが現状です。

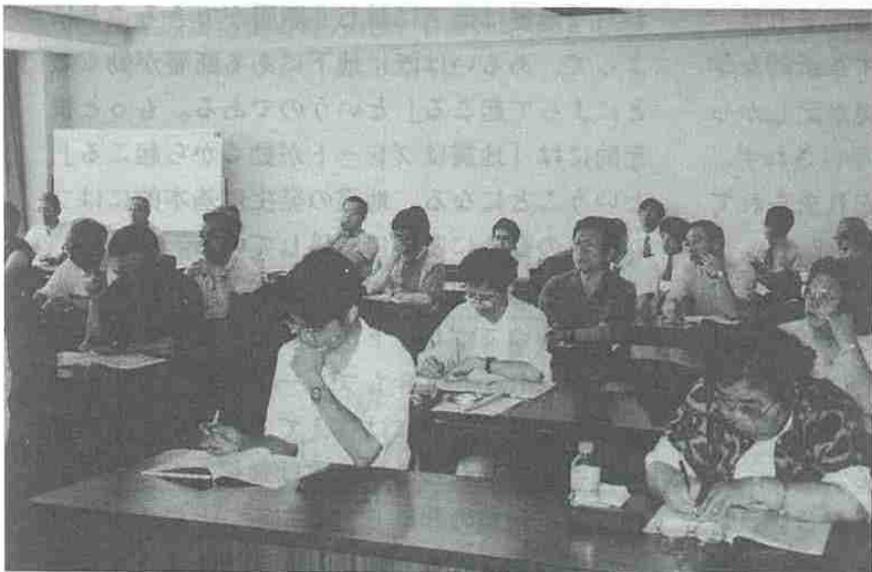
しかし、札幌管区気象台会議室の冷房設備の整備も終了し、また、札幌市青少年科学館の研修室も平成9年春には完成すると聞いています。受講者の皆さんにはもう少し辛抱していただければと思います。

最後になりましたが、例年、この講座の開催に当たり、会場の準備や接待役を快く引き受けていただいた札幌市青少年科学館の学芸課、気象協会北海道本部の総務課の皆さんに、この紙面を借りて厚くお礼申し上げます。



第13回夏季大学『新しい気象』講座

◀ 受講風景
(気象協会北海道本部にて)



◀ 受講風景
(気象協会北海道本部にて)



◀ 札幌管区気象台見学風景

1. 地震はなぜ起こる

北海道大学理学部教授 岡田 廣

1. はじめに

二十世紀の初め、ウェーゲナーは「大陸は移動する」という学説を発表した。しかしそれは、当時の地質学の常識をひっくり返す革新的な学説だったせいがあるいは学問的根拠が乏しかったせい、地質学者からまともに相手にされず、ただ嘲笑を浴びるだけで、やがて忘れ去られてしまった。

1950年代から盛んになった学問に岩石磁気学というものがある。火山が噴火するとき新しく地表に出てくる溶岩は冷え固まるまでに必ず磁石になる。それは何故だろうか？そんな謎を解明していった学問が岩石磁気学である。

この学問は1970年代になって地球科学の世界に「新しい地球観」を提唱した。その礎になったのが「海洋底は拡大する」という仮説である。この仮説によれば「大陸も移動する」。すなわちウェーゲナーの「大陸移動説」の復活であった。その後この仮説は、いろいろ研究が進められ、「プレート説」あるいは「プレート・テクトニクス」とか「ニュー・グローバル・テクトニクス」と呼ばれる新しい学説として定着し、現在は地球内部に起こるあらゆる現象を説明する拠り所となっている。

「地震はなぜ起こるか？」「火山はなぜ噴火するか？」など、1960年代まで長い間謎であったこれらの現象は「プレート説」で、完全ではないが、かなりよく説明できるようになった。

現在、「地震は地下の断層運動によって引き起こされる」という考えが定着している。すなわち「地震は地下に新しく断層ができることによって、あるいは既に地下にある断層が動くことによって起こる」というのである。もっと根元的には「地震はプレートが動くから起こる」ということになる。地震の発生は基本的にはプレートの動きに密接に関係している。

古い岩石に残されている磁気、それはわれわれに「かつてプレートが動いた」ことを教えてくれた。しかし「今もプレートは動いているのか？」という問いには答えてくれない。その問いに答えてくれるのは、実は地震なのである。確かに、地震の起こり方を知ることによってプレートの動き方を知ることができるようになった。また逆に、プレートの動き方を知ることによって、地震の起こり方も知ることができるようになった。

2. 地震はどこで起こるか？

(1) 世界の地震活動の分布

現在世界の地震観測網によれば、マグニチュード（地震の大きさを表す単位で、観測された地震波の最大振幅を使って決める。地震波にはいろいろな種類があるので、どの波を使って決めたかによってその大きさが異なる。たいていは、S波か表面波と呼ばれる波で決める。これを記号Mで表す）5以上の地震ならば世界のど

こに起こっても震源（最初に地震の波が出たところを言う。その真上の地表の点を「震央」と言う）が求まる。日本、アメリカなどのように、数多くの地震観測点が密に分布するところではM4以上、場所によっては、M2程度以下でも震源が求まる

地震は世界中に一様に起こるのではなく、特定の場所に起こる。その深さは場所によって異なるが、浅い地表付近から約700キロメートルに及ぶ。何故か700キロメートルより深いところには起こらない。

いま深さ60キロメートルより浅いところに注目し、そこに起こる全世界の地震の震央分布（これを地震活動と呼んだりする）を図1に示

す。地震の発生する主な地域は

- ・島弧およびそれに準ずる地域、
 - ・中央海嶺およびその内陸部への延長にあたる地溝帯、
 - ・大陸の一部（中国、北米中東部など）、
- などである。

一方、地震のほとんど発生しない地域すなわち地震活動の低い地域としては、海嶺やハワイの火山島付近を除く大洋底の大部分、および大陸のいわゆるシールド地域、たとえばカナダ、グリーンランド、北欧、アフリカ西部、アラビア、オーストラリア、ブラジル、南極大陸などである。

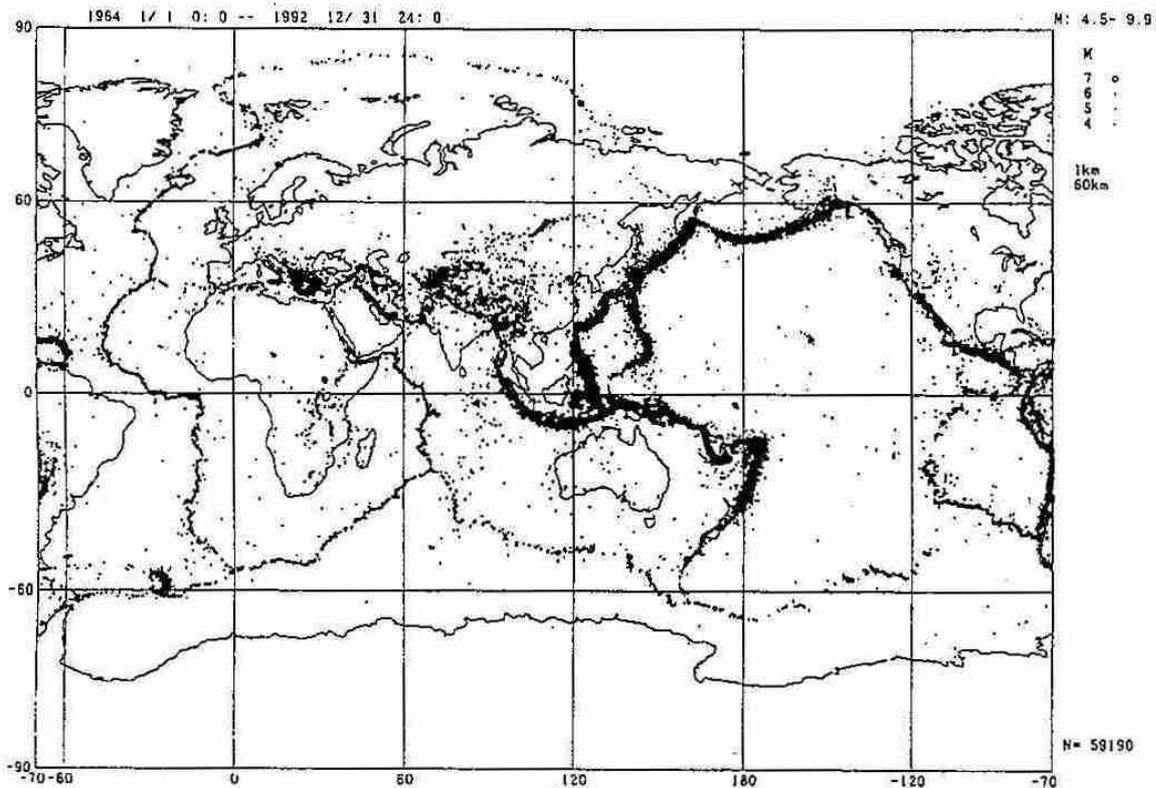


図1 全世界の地震の分布（1964年～1992年）

(2) 日本とその周辺の地震活動

最近約10年間、日本とその周辺に起こった深さ30kmより浅いM2以上の地震の震央分布は図2のようになる。これには総数約34000個が記されている。地震活動の活発なところは、

- ・北海道、東北、関東地方の太平洋岸と海溝の間、
 - ・東海道から四国の沖合、南海トラフの内側、
 - ・北海道、東北地方の日本海岸、
 - ・本州中部以西の内陸、
- などである。

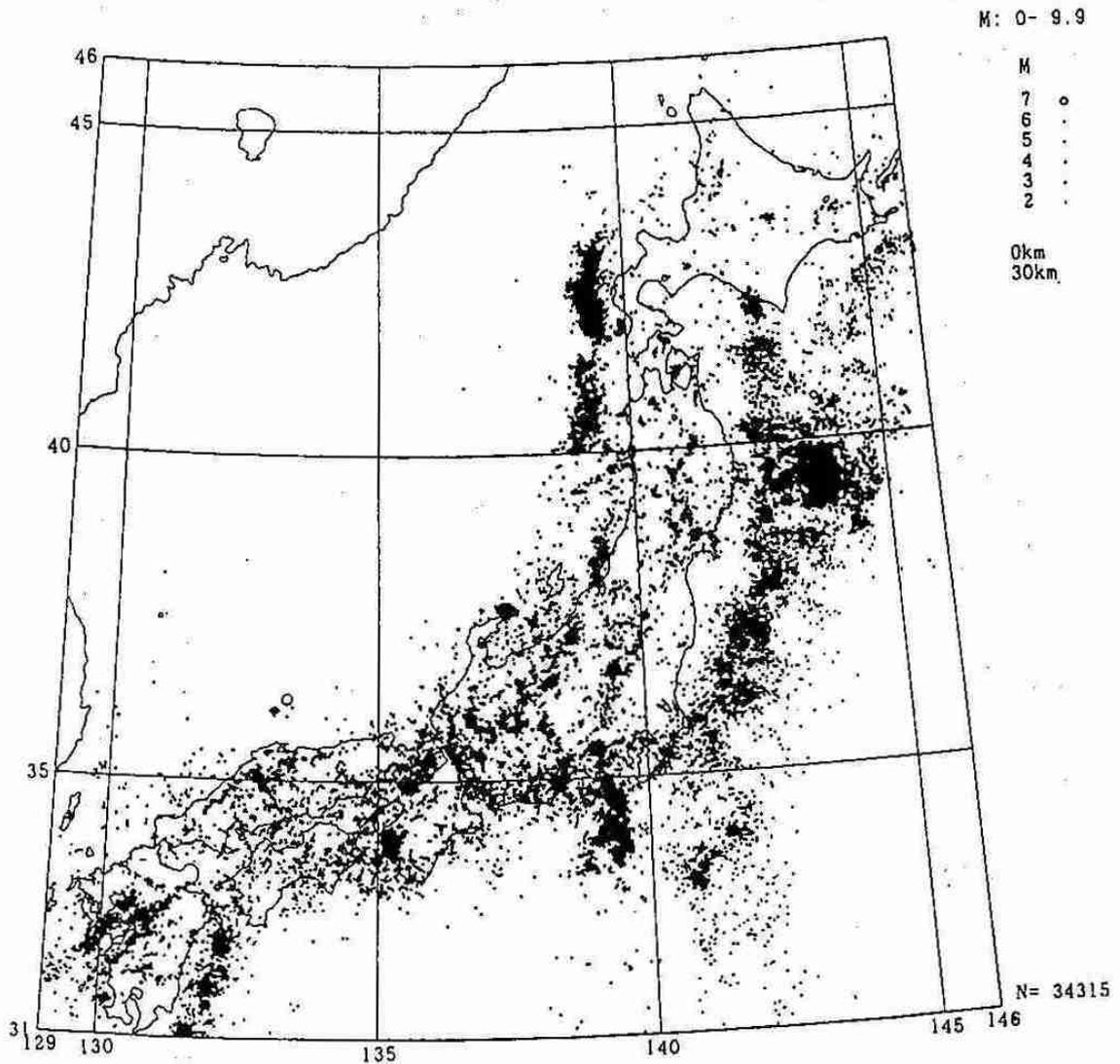


図2 日本とその周辺の地震の分布 (1983年~1992年)

(3) 北海道とその周辺の地震活動

北海道とその周辺で、最近約19年間に起こった深さ40kmより浅いM1以上の地震の震央分布を図3に示す。M1程度の小さい地震になるとどの場所でも同じ精度で震源の位置を決めることはできない。そのためにMの小さい地震の分布にはややむらがある。この図の地震は総数約42000個ある。主な活動域は、

- ・日高山脈西側から浦河沖の太平洋岸、
 - ・釧路沖および根室沖の太平洋岸、
 - ・北海道北部稚内から石狩北部にかけての内陸、
- であるが、これには、1982年3月21日浦河沖地震、1993年7月12日北海道南西沖地震、1994年10月4日北海道東方沖地震、1994年12月28日三陸はるか沖地震などの余震が含まれている。

(4) 札幌とその周辺の地震活動

最近約19年間に、札幌とその周辺に起こった

地震の中、深さ40kmより浅いM1以上の地震だけに注目する(図4)。

小さい地震がほとんど深さ約20km未満に起こっている。図ではいろいろなところにバラバラに起こっているように見える。これは、観測点の数が少なく、震源位置の決め方が、あまり良くなかったせいで、もし札幌周辺にもっと多くの観測点があり、今より震源位置の決め方が良ければ、これらの震央はおそらく線状に分布しただろう。この図では、

- ・石狩川河口から札幌市を通り支笏湖周辺にいたる幅約50kmの地域、
 - ・石狩湾北西の積丹半島沖合い、
 - ・石狩川上流の西側、
 - ・石狩平野の東縁すなわち日高山脈の西側、
- などで比較的多く地震が起こっているように見える。

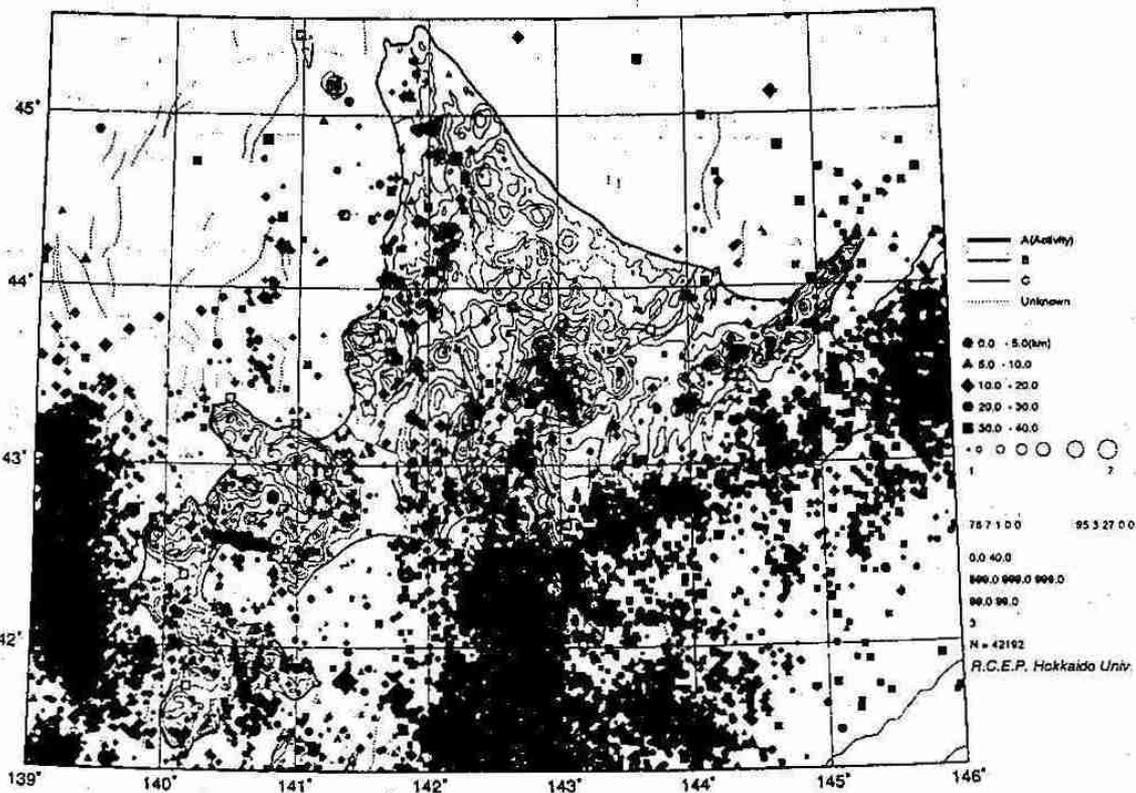


図3 北海道とその周辺の地震の分布(1976年~1995年)(北海道大学理学部地震予知観測地域センターによる)

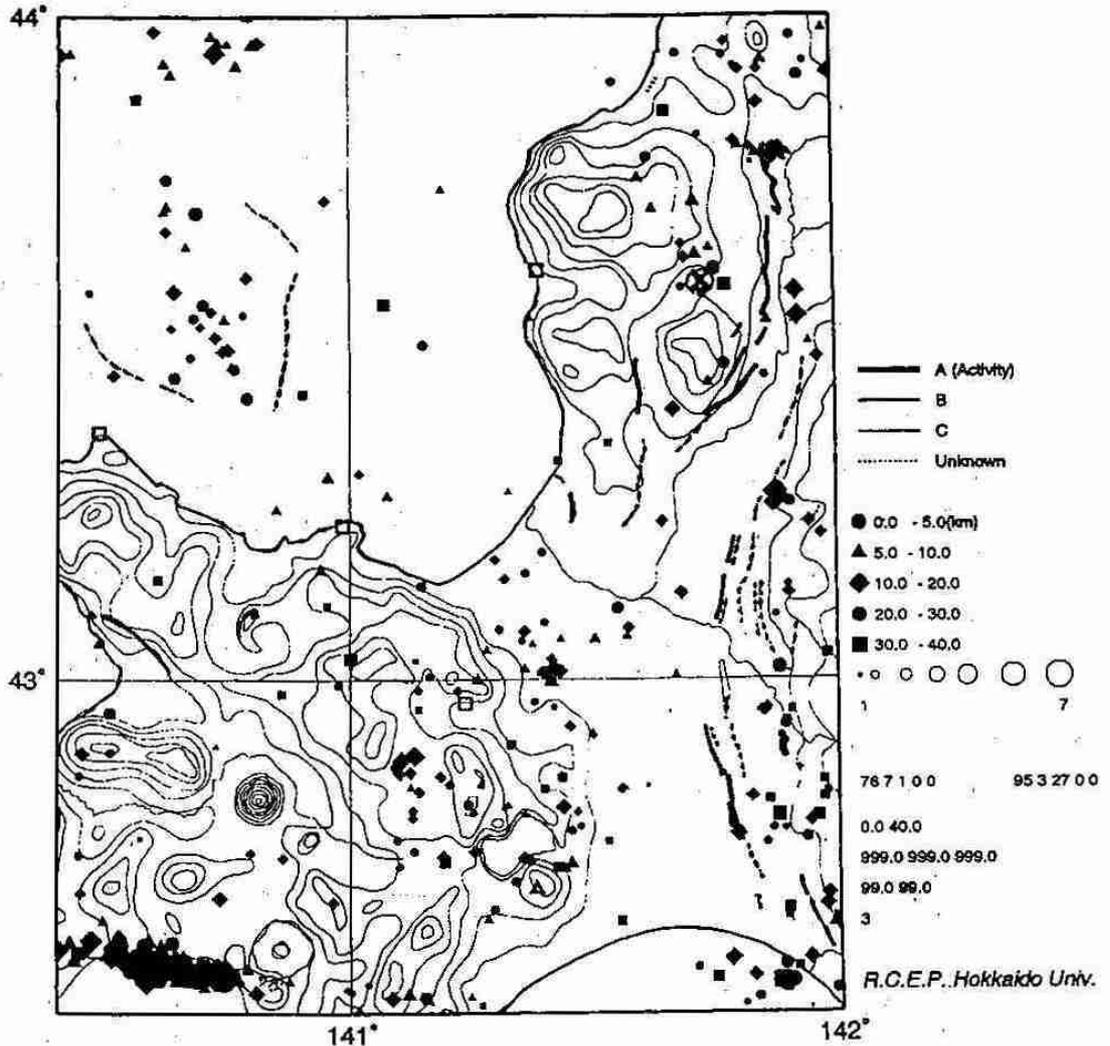


図4 札幌とその周辺の地震の分布 (1976年~1995年) (北海道大学理学部地震予知観測地域センターによる)

(5) 地震活動の空間分布で分かること

いろいろなスケールで地震の震央分布を見てきたが、いずれの場合も、地震が密に分布しているところ(「密集地域」と呼ぶことにする)は、地球の長い歴史の中でくり返しくり返し地震が起こっていたところで、地震の「常時発生地域」になっている。これからも地震が起こるとすれば、この地震の「密集地域」あるいは「常時発生地域」のどこかに起こることになる。そしてこれから先、長い将来にわたって、地球のこのような地震の分布はわれわれが知った模様のままで変わることはないだろう。

このように、われわれは1950年代以降、「地

震はきまったところに繰り返し起こる」ことを知った。

今までの経験によると、過去発生したことが知られていないところに不意に地震の起こるがある。このような地震も、後で調べてみると、結局周辺の地震活動の隙間を埋めるように起こるべくして起こっている。

なお、地震の密集地域ないしその周辺で過去地震の発生の歴史がないところ、また過去発生の歴史があっても、地震がそこに長い間起こっていないところ、これを地震の「空白域」と呼んでいる。

世界の地震活動、日本の地震活動、そして北

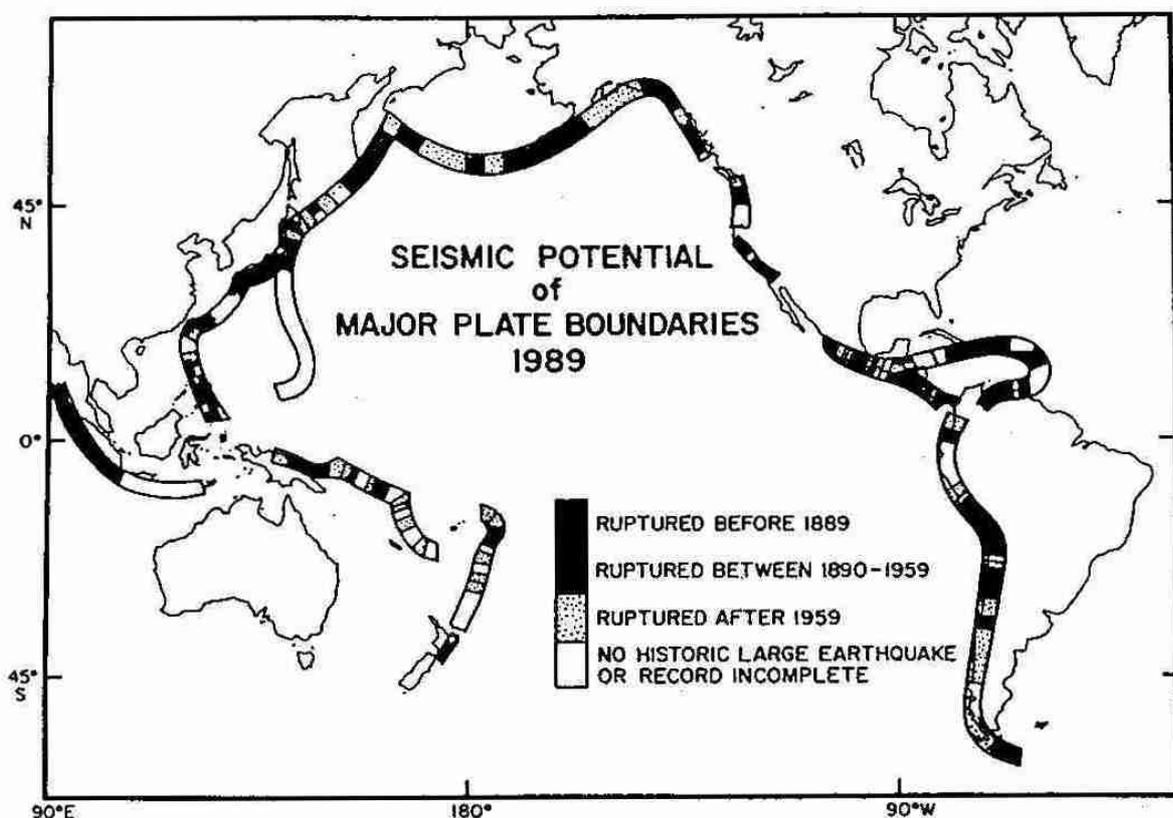


図5 環太平洋の地震の空白域と大地震の発生の可能性の高いところ (C. H. ショルトによる)

海道とその周辺の地震活動を見て分かるように、地球には明らかに地震の「密集地域」がある。そういう密集地域の中で、あるところがある時期から地震活動が低くなったとしたら、そこはやがて起こるであろう地震の空白域と考えるべきだろう。

環太平洋の地震帯について、空白域を調べたのが図5である。

今まで地震の起こった位置を「点」で示していたが、実際に地震が起こった場合そこは「点」ではなく、ある広がりをもっている。これは地震の起こり方あるいは地震の原因に関係がある。

3. 地震はどのようにして起こるか？

地震は人間にとって最も恐ろしい自然現象の一つである。「地震は何故起こるのか？」誰し

もその原因を知りたいと思っている。かつてはそれに関わる信仰、神話が数々現れ、その主役として、なまず、牛、蛇などが登場した。いまそれを真面目に取り上げる人はほとんどいないだろう。たかだか百年の歴史しかない「地震学」という学問を振り返ってみると、地震学者達は、地震の原因について「地下深くマグマが貫入するため」とか「地殻内の断層付近にたまった歪みを解消するように断層がずれ動くため」とか、いろいろ理屈をひねった。前者を「岩しょう貫入説」、後者を「弾性反発説」と呼ぶ。これらの説も日本の数々の優れた研究によってやがて表舞台から消え去っていく。その口火を切ったのが、1917年の志田順の重要な発見「P波初動方向の規則的な分布」である。

(1) 初動の押し・引きの空間分布

地震が起こると、震源からは、地中の粒子を進行方向に沿って前後に動かすようにして伝わる「P波」と、同じく粒子を進行方向に垂直な面内で動かすようにして伝わる「S波」の2種類の地震波が出てくる。どちらの波も地球の外へ逃げ出せないために、時にはそのエネルギーが地表付近にたまり、新しい波、「表面波」が2次的に出来たりする。これらの波の伝わる速度はP波が最も大きく、次いでS波、そして表面波である。したがって地震が起これば、どの場所にも最初にP波が到着する。その時、地面の最初の動きは震源から遠ざかる向き（押し）か、震源に近づく向き（引き）かのいずれかになる。志田順（1917）は初動の「押し」と「引き」の空間分布を調べ、それには規則的な分布のあることを発見した。そのような規則的なP波の初動分布が得られている1948年福井地震の例を図6に示す。

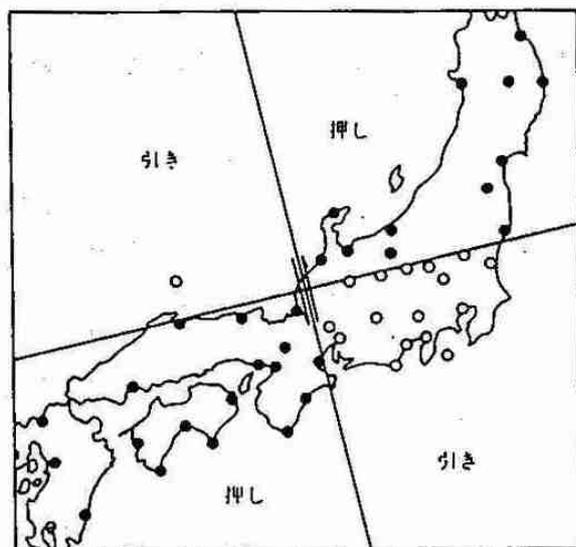


図6 1948年福井地震のP波初動分布

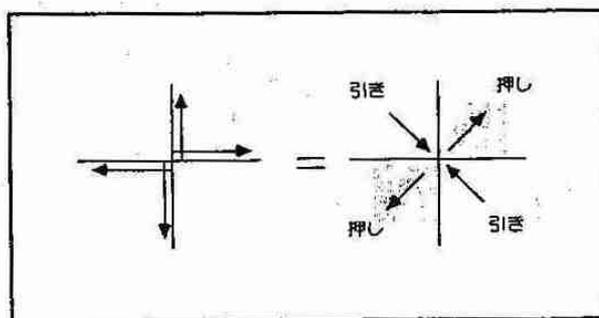


図7 震源に作用する2組の偶力と初動の「押し」「引き」の分布

1950年代になって、この現象は、地震の起こるところに図7のように、

互いに直交する2組の偶力が作用

していたために起こることが分かった。一般に物体は、特定のところに集中的に長時間続けてこのような偶力が作用すれば、壊れてしまう。地下深部の岩石にも同じように偶力が長時間作用し続けると、そこは壊れるだろう。その壊れ方は

互いに直交して作用する2組の偶力の
どちらかに沿って割れる

はずである。このようにして出来る割れ目を断層と呼ぶ。しかし、このような断層が地表に現れることは滅多にない。その滅多にない断層を1891年濃尾地震で見ることが出来た（図8）。有名な根尾谷断層である。今は天然記念物に指定されている。この地震は、仙台以北を除く本州、四国、九州、種子島まで、日本列島のほとんど有感という大きなものだった。そのために、人々はその断層は地震があまりにもものすごく地面を揺すったために出来たと考えた。すなわち「断層は地震の結果」と考えた。

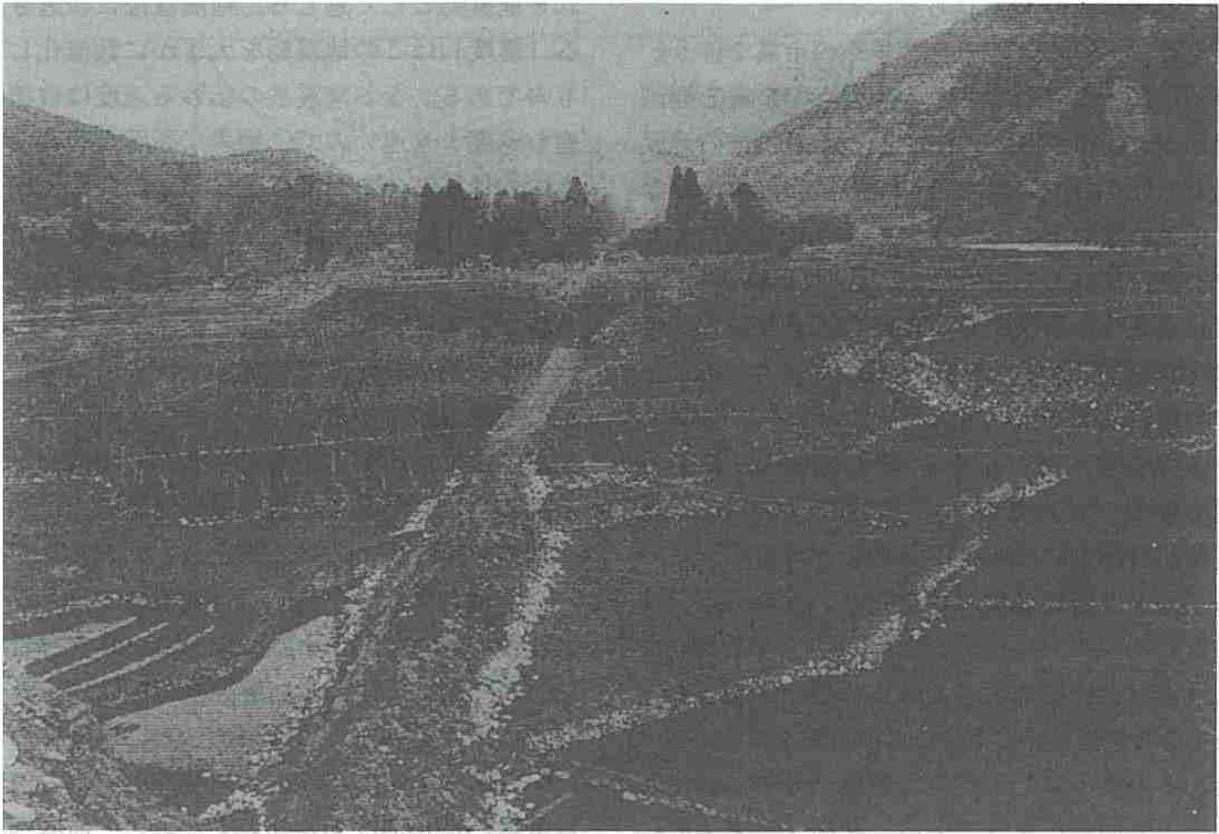
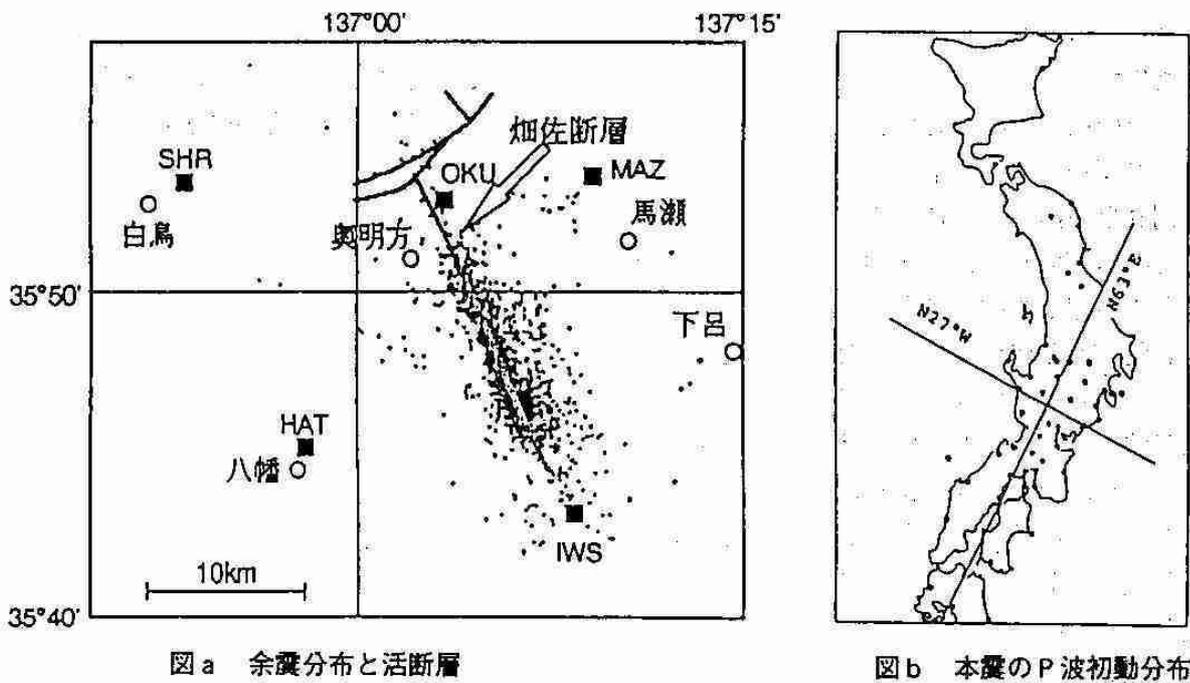


図8 1891年濃尾地震による根尾谷断層の一部 (瀬古安太郎氏撮影)



図a 余震分布と活断層

図b 本震のP波初動分布

図9 1969年岐阜県中部地震の余震分布

(2) 地震は断層運動である

地震はたいていの場合数多くの余震を伴う。1960年代になると、多くの観測点で余震を観測できるようになり、地中を伝わる地震波の速度もよく分かってきたために、余震の位置をかなり正確に決めることが出来るようになった。その結果、従来の地震と断層の因果関係の考え方を一変させる事実が見つかった。それは1969年の岐阜県中部地震のときである。たくさん起こった余震の位置を決めてみると、それらは見事に一直線に並んだ(図9)。そして地表に断層を見つけることもできた。この事実により、「地震は断層運動によって引き起こされる」すなわち「地震は断層運動の結果」という考えが定着した。

最近では、比較的大きな地震の場合、余震の分布をさらに詳しく捉えることが出来るようになった。そのようにして捉えた余震の分布は線状というより面状になっている。結局、断層運動によって出来る断層は平面的な広がりを持つことが分かってきた。故に「断層」は「断層面」と言う方が正しいかもしれない。図10に示す1989年アメリカのロムプリータの地震などはその典型的な例である。

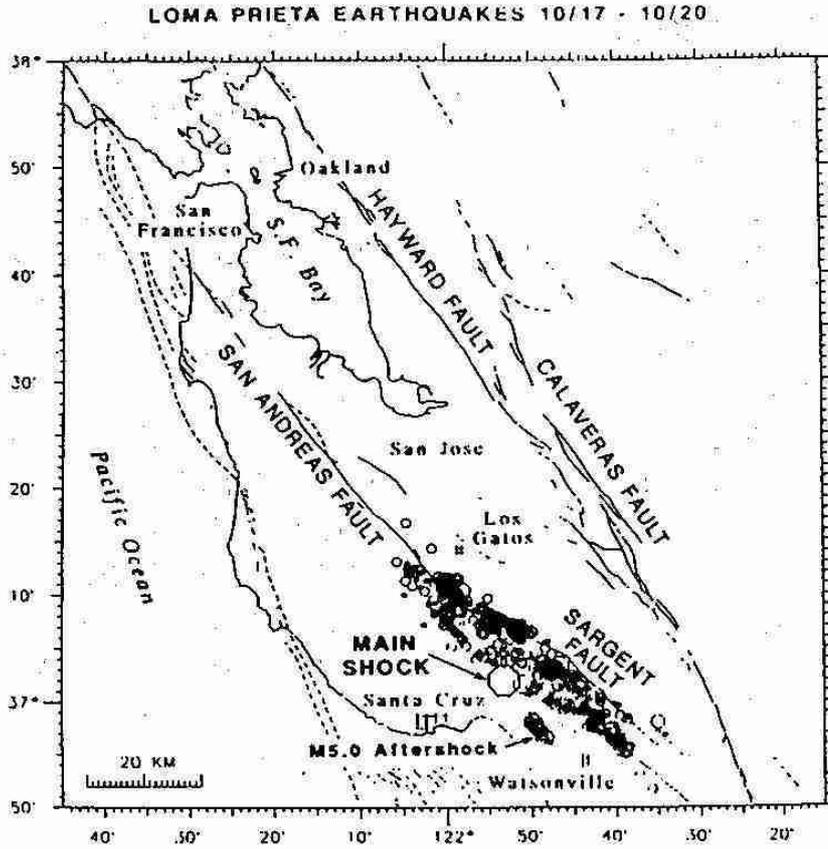
その断層面は一瞬にして出来上がるものではない。まず初めに、地下のどこかのある点に小さな割れ目が出来、そこにくいちがいが生じ、そのくいちがいが、毎秒3000メートルから4000メートルの速さで四方に広がって行く。最終的には岩盤がある広がりをもった平面を境にしてその両側に互いにずれを残して止まる。そのずれた痕跡を「断層」といい、その平面を「断層面」という。そのような割れ目の出来るとき、すなわち岩盤の壊れるときの衝撃が弾性波すなわち地震波として伝わる。つまり断層は、最初の割れ目から最終的に岩盤のずれが止まるまで、断層面内のいたるところから四方八方に波を出し続けながら壊れていく。

これらの波が地表に達すると、われわれはそ

れを地震動として感じる。地震直後に報道される「震度」はこの地震動を大まかに数値化したものである。なお地震波の伝わる速度は破壊の進む速度より速いので、地表に断層が現れるときでも地震波の方が必ず先に来る。

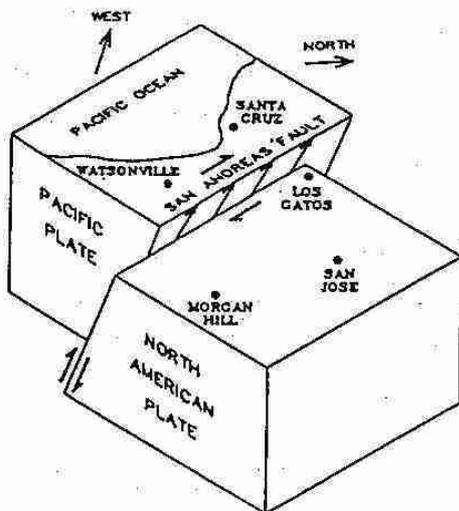
このように、断層は絶えず地震波出しながら、次第に周辺に広がる破壊によって形成される。断層が大きければ大きいほど、次々と送り出される波が重なりあって地震動は大きくなり、揺れの時間も長くなる。

ここまでは1個の地震を1つの点で表し、その点の集まりとして地震活動を見てきた。しかし地震を点で表すのは、何となくわれわれが抱くある種の大きさを持った「地震のイメージ」とはかけ離れているように感じる。事実、これら点の位置はいずれも断層運動の開始点であって、広がりを持った断層のあるところ全体ではない。上に述べたように「地震波の伝わる速度は破壊の進む速度より速い」ために、断層運動の開始点つまり断層面で最初に破壊したところから出た波を真っ先に記録することになり、地震の位置は、その波の到着時すなわち初動の到着時を使ってただ点として求められる。したがって今まで、地震はその大小に関わらず、そしてそれを引き起こした断層の広がりや形とは無関係に1点で表していた。



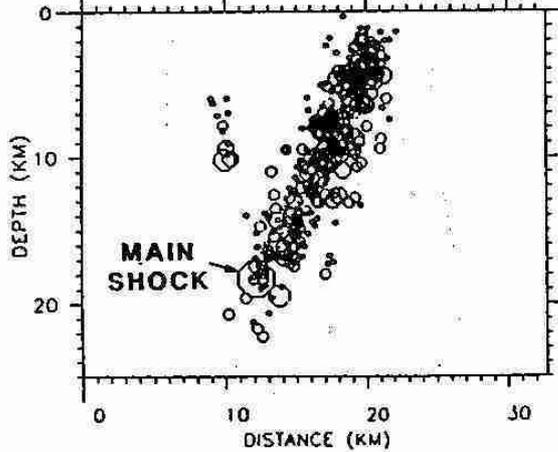
ロマプリータ地震の余震分布

SCHEMATIC DIAGRAM OF THE EARTHQUAKE MECHANISM



断層ずれの概念図

CROSS SECTION OF LOMA PRIETA EARTHQUAKES VIEWED FROM THE SOUTHEAST



断層直角断面の余震分布

図10 1989年ロマプリータ地震とその余震の分布

最近、断層面を形成する破壊の進行状況も刻々捉えることも出来るようになってきた。その一例が図11である。断層の形を矩形と仮定したり、その他まだいくつか仮定しての断層形成モデルであるが、これによって観測された現象の大部分をうまく説明できるようになったことは確かである。これとは大きく違った断層モデルとして、北海道南西沖地震がある(図12)。この地震の場合、断層は少なくとも5面できたと考えられる。この例のように、最近、大きな地震は1枚の断層面で説明することは困難であると考えられるようになった。

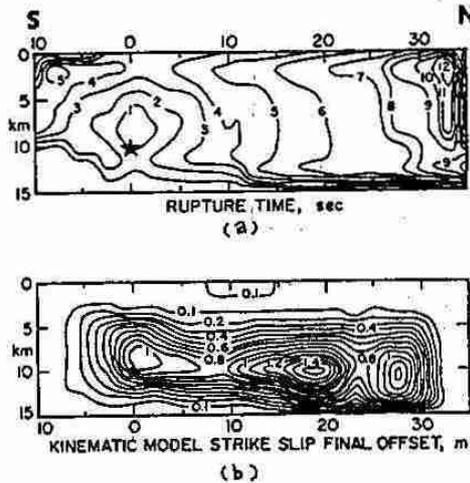


図11 インベリアルバレー地震の断層とその出来方。(a)破壊の進む時間分布、単位は秒。(b)断層面内に残ったずれの大きさ分布、単位はcm(C.H.ショルツによる)

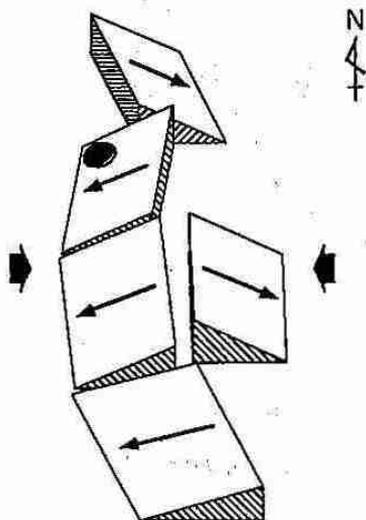


図12 1993年北海道南西沖地震の断層(北海道大学理学部地震予知観測地域センターによる)

上に述べたように、地震は、地下のどこかのある点に小さな割れ目の発生で始まり、そこに生じたくいちがいが四方に広がり、最終的に岩盤のずれが停止すると終わる。しかしこのように短時間で引き裂かれた岩盤のずれは余りにも速く出来上がるために、決して「おさまり」はよくない。大急ぎで引き裂いたために細かいところでやり残したところもあるだろうし、勢い余って余計なところまで引き裂いたかもしれない。地震直後、かなり長い時間かかって、このような断層面各所に残る「割れ残し」の破壊や「割れ過ぎ」の「補修」のようなことが断層の中で起こる。つまり「断層の仕上げ」である。またこの断層周辺に少なからず影響が及び、その断層周辺をかるうじて支えていた力の場が崩れ、その煽りで周辺部分にも小さな破壊が起こる。このような「断層の仕上げ」や「周辺部分の小破壊」、これが余震である。したがって余震の分布を調べると、地震によって出来た断層の形や広がり鮮明に浮かび上がってくる。このような「余震分布が断層の輪郭を描きあげるという現象」の発見も「地震はなぜ起こるか?」の謎解明に大いに役立った。

被害を起こすほどの大地震ではないが、実際に地表で断層の観察されるところで起こる地震は、まさにその断層の輪郭を描くように起こる。図13の西日本の地震活動図にその様子を見ることが出来る。

あるところで今、小さいながらも地震が起こっていると。このような地震はその場所か直ぐその側にかつて起こった大きな地震の余震か、もしくは現に断層が小刻みに動いている証拠かもしれない。少なくとも地震が起こっているところがあれば、そこには必ず断層があり、その断層は今も動いていることを証明しているようなものである。そのような断層を活断層と呼んでいる。

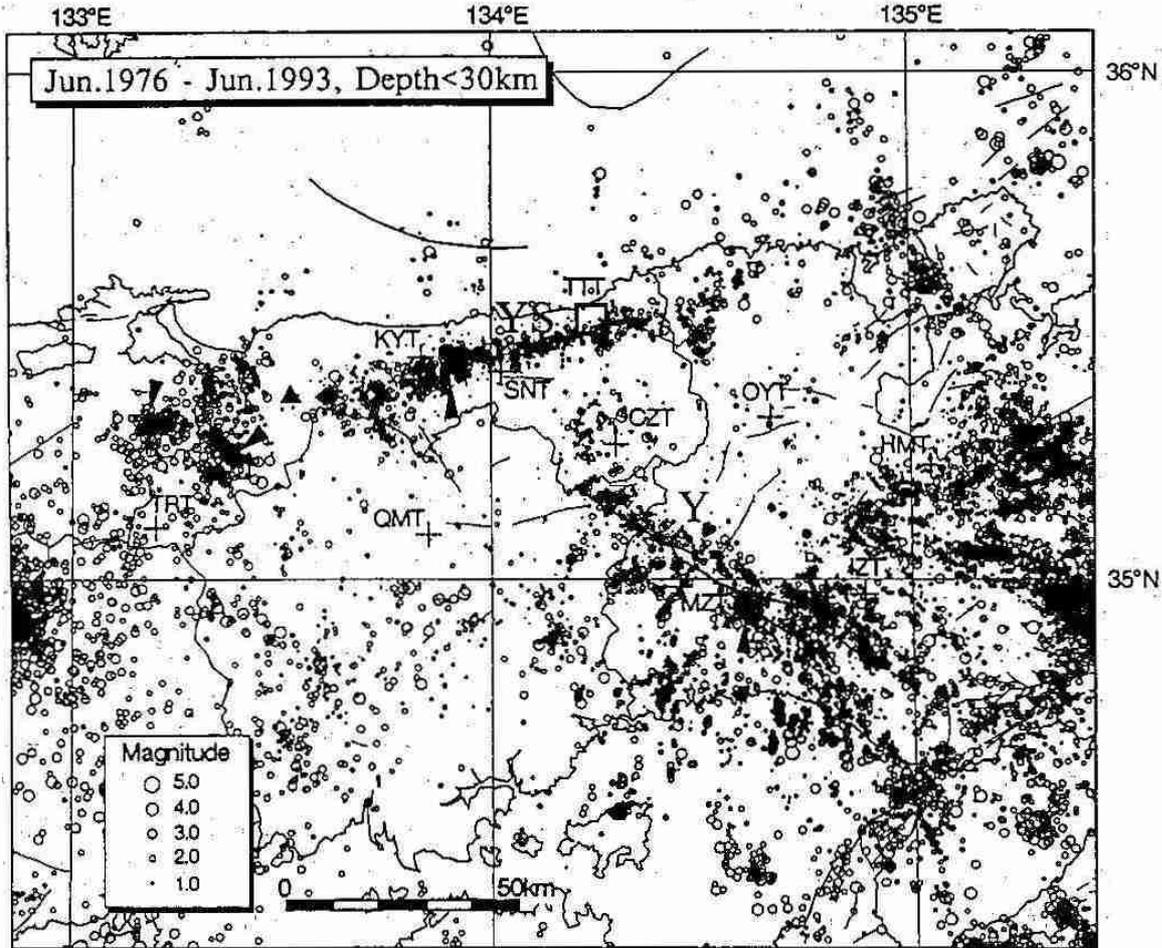


図13 西日本の深さ30km未満の地震活動の断層 (1976年~1993年) (京都大学防災研究所による)

4. 活断層とは何か?

(1) 活断層はどうしてできるか?

「活断層」とは、最近の地質時代(200万年以降)に繰り返し活動したことが明らかな(地形に変動を刻む)故に、将来も活動して地震を発生させる可能性のある断層のことを言う。

もともと、活断層を含め断層はどうして出来たのだろうか?

地球の中には、地球の表層厚さ約100キロメ

ートルまでを構成する十数枚のプレートという固い岩盤を動かす力や、それらのプレートが動くことによって二次的に生じる力が絶えず働いている。地震学では、このような力を「ストレス」という「単位面積に加わる力」に置き換えて使う。このストレスが生じるのは、地球の中が不均質な物質で出来ているからである。物質が不均質なところは、ストレスを生み出すところとなる一方で、また特別な大きなストレスが

加わるところとなる。その代表的なところが、プレートの表面、ちょうど地球の皮にあたる「地殻」である。地殻は地球の中でも最も不均質な構造のところ、ストレスのかかり具合が最も激しいところである。そのようなストレスの働き方は、不均質な地殻の中では当然むらがある。あるところは強くあるところは弱かったりする。長時間このように場所によってむらのあるストレスが作用し続け、耐えきれなくなったところにやがて破壊が起こる。この地殻内で起こる破壊現象を断層運動という。

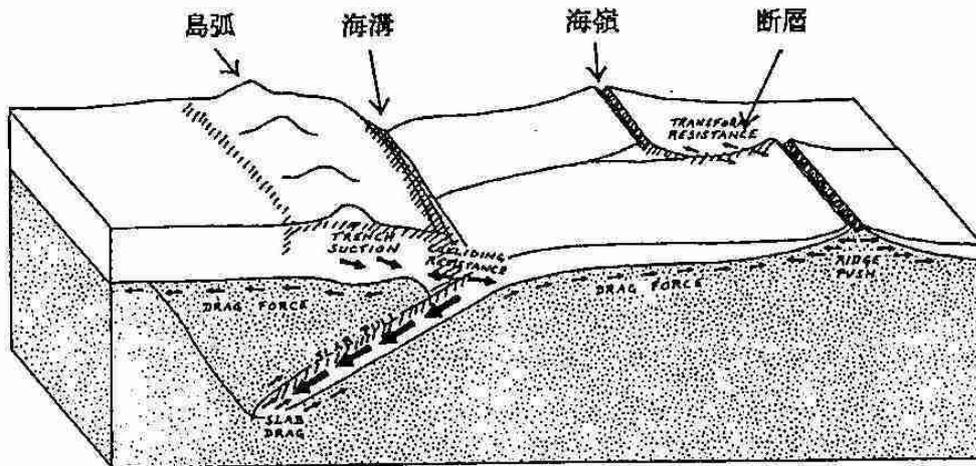
このようにして出来た断層は地下にいくちがいを残したまま、時間とともにやがて古傷となっていく。古傷となった断層は地殻の弱いところとなる。絶えず作用し続けるストレスは、またこの古傷を痛めつける。断層は再び動かざるを得ない。また活断層となる。何回も何回もそのようなことを繰り返して、断層は大きくなったり、形を変えたりしていく。

上に述べたように、プレートは絶えず動いている。やがて行き場のなくなったプレートは地下にもぐらざるを得ない。そこにはどうしても無理が働き、地下のストレスは大いに高まり、大きな断層をつくることになる(図14)。時間

が経つと、プレートは地下の更に下にもぐり込んでいく。そのプレートは当然その周りの物質とは性質が異なる。プレートのもぐり込んだところは不均質な構造となる。そのために深いところでも、プレートがもぐり込んでいく限り、地震が起こる。またむりやりもぐり込むプレートは自分自身にも無理がかかるが、その周辺にもいろいろ無理を強いることになる。そのあおりを世界のどこより強く受けているところが日本列島である。日本列島の地殻は古傷だらけである。

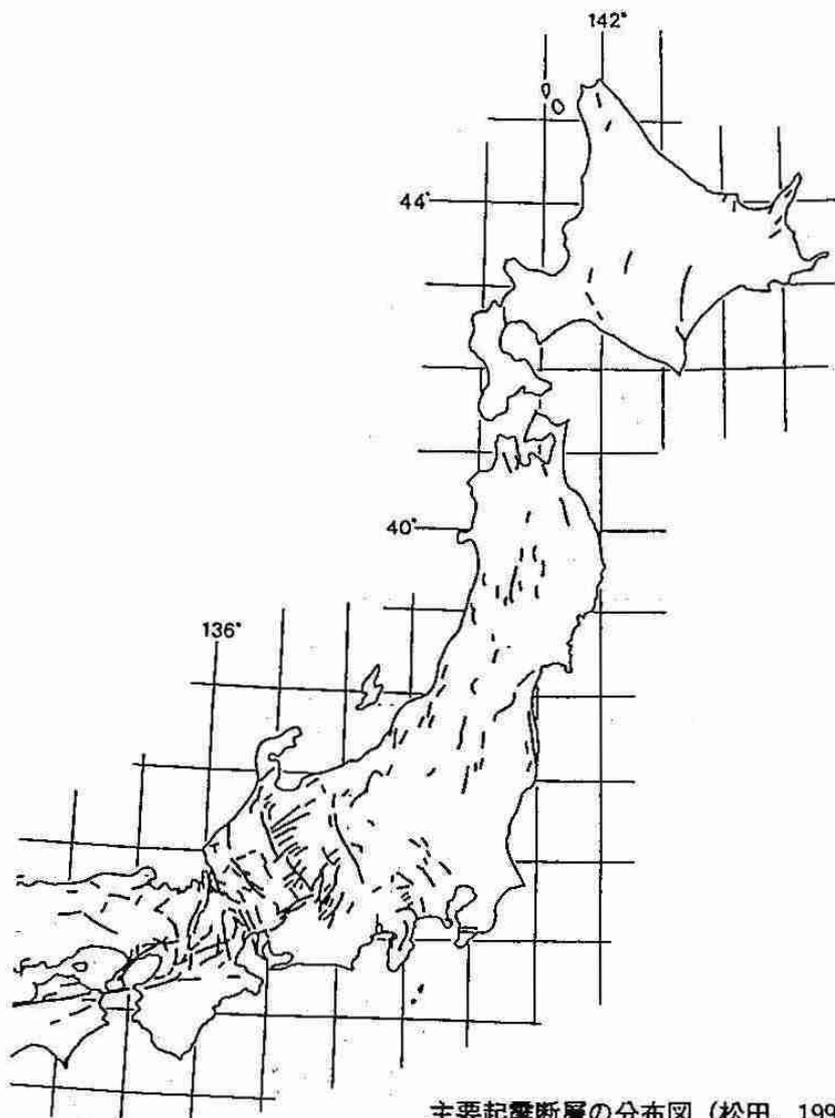
(2) 活断層はどこにあるか？

日本列島の活断層をしてみる(図15)。これは主に地震を起こす可能性の高い断層だけを記したものである。断層はこのほかにもまだまだあると考えられている。これより増えることはあっても減ることはない。またここに記されていない断層が地震を起こすことだってあり得る。断層の長さは今後起こるであろう地震の大きさ(マグニチュード)に関係しているだろうといわれている。北海道については、もう少し慎重な目で断層の存在を見てみよう。



//////
強いストレスのかかるところ、
すなわち活断層の出来るところ

図14 活断層の出来るところ



主要起震断層の分布図 (松田, 1990より)

図15 日本列島の主な活断層の分布 (松田, 1990)

(3) 北海道の活断層

北海道には、大きく分けて7つの活断層密集地帯がある (図16)。西から東に向かって、①黒松内低地-函館西縁帯、②石狩平野西縁-東縁帯、③天塩-苫前帯、④富良野盆地地帯、⑤十勝平野東縁帯、⑥網走帯、⑦知床半島帯などである。これらの地域に見られる断層のほとんどは航空写真で見つけられたものである。断層の活動度もそれぞれ判定されている。幸い

と言うべきか、かえって危険が高まっていると言うべきか、これらの断層で大きな地震を起こしたものは知られていない。ここで断層の起こり方についての説明は省略するが、ちなみに北海道の断層は、動くとなれば、正断層か、逆断層で、どちらかというとな上下にずれるタイプである。兵庫県南部地震のような横ずれタイプとは異なる。

断層は陸だけとは限らない。海にも非常にた

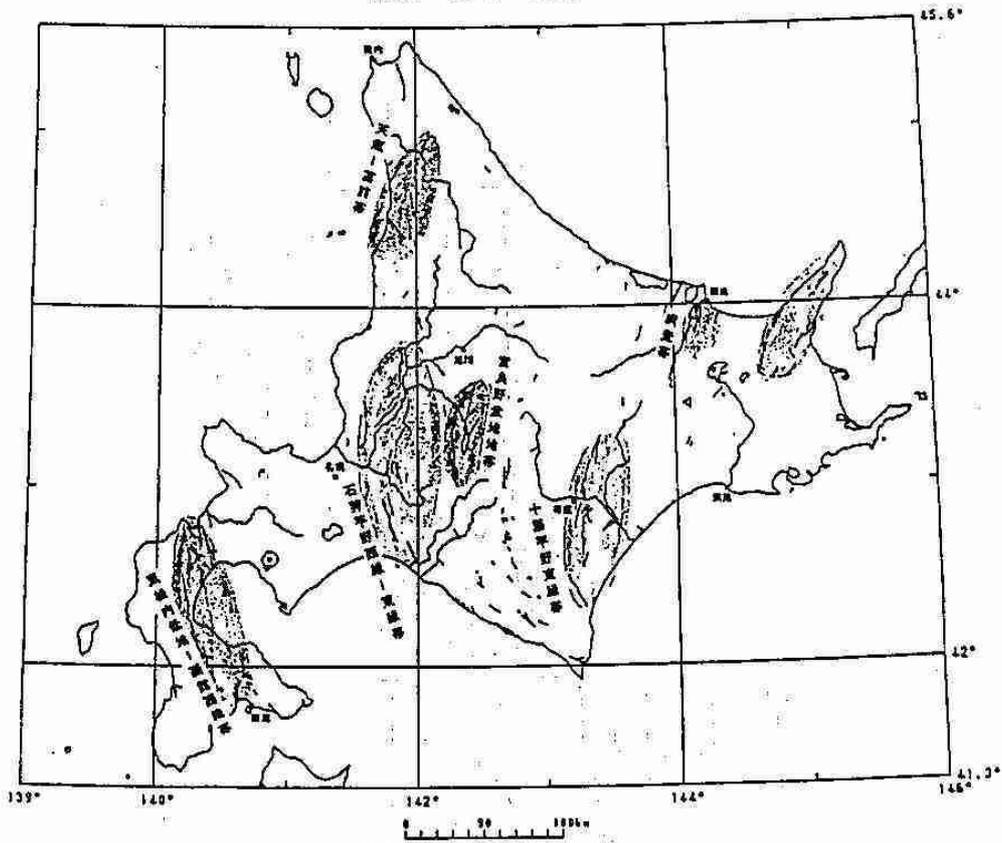


図16 北海道内陸部の活断層の分布 (山岸,)

20 札幌

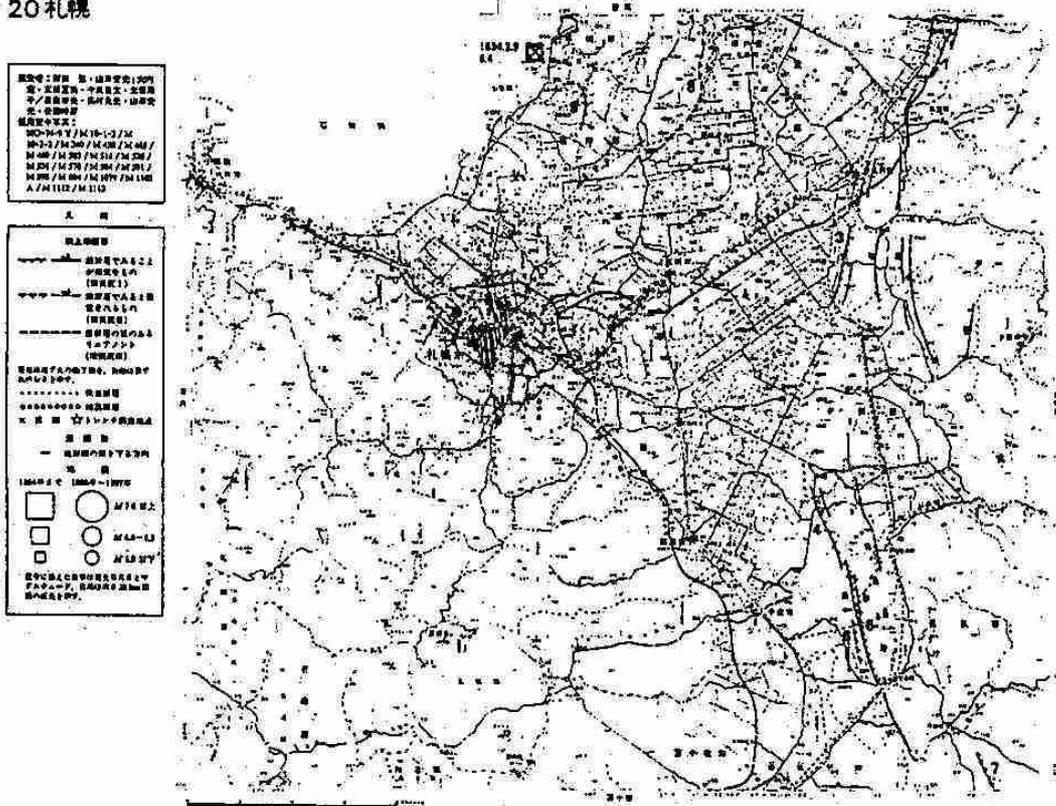


図17 札幌周辺の活断層 (日本の活断層,)

くさんある。陸よりむしろ海の方が多。

(4) 札幌周辺の活断層

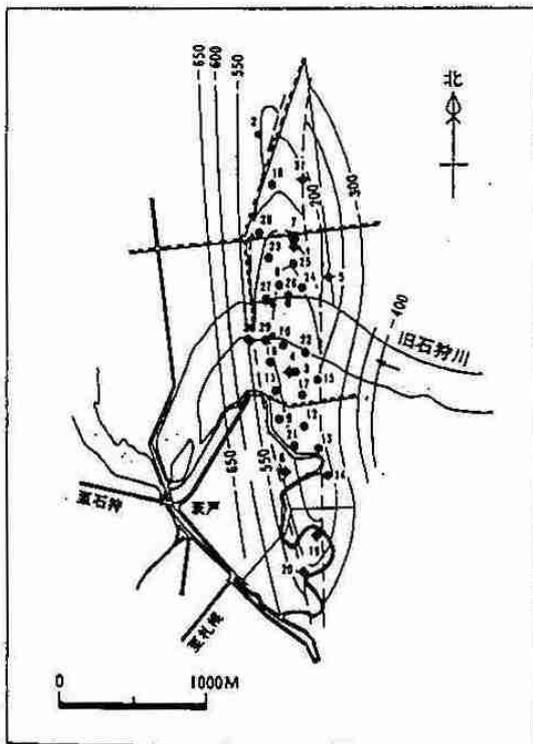
札幌とその周辺にも活断層はある(図17)。この図では、札幌市の下には断層は見当たらない。「まずは一安心」と思うかもしれない。しかしそうはいかない。札幌市を中心とする石狩平野は、石狩川が長い年月をかけて上流から運んできた厚い堆積物で被われている。活断層はあるいはこの堆積物でかくされているのかもしれない。そんな疑いを抱かせる資料がある。(図18)。

石狩川河口付近でかつて石油探査が盛んに行われ、その地下構造が明らかにされた。丁度

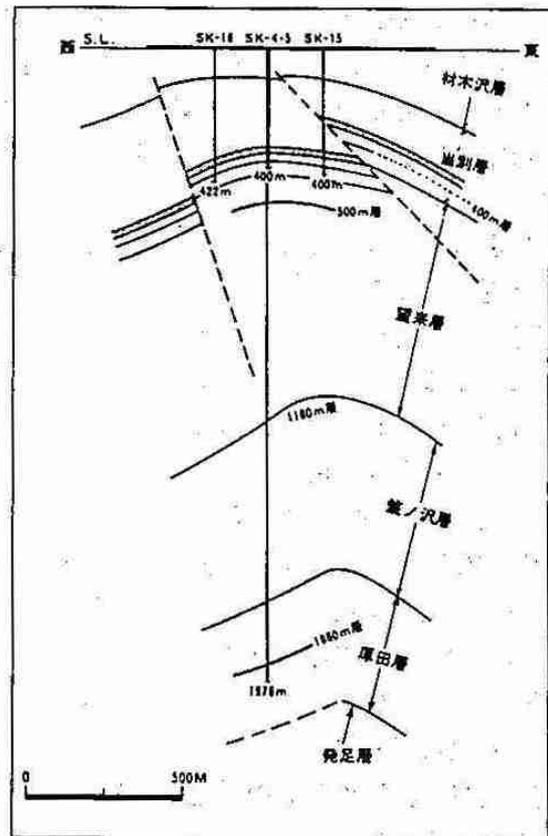
樺戸山系に見つけられている断層の南へ延長したところである。明らかに断層がある。このように現在地表では見えない断層が地下にまだまだ多く存在している可能性がある。滅多に動かないこれらの断層がもし動いたら活断層かもしれない。それらが今後絶対に動かないという保証はない。目で見える断層だけでなく、地下に隠れた断層を探し、それが果たして活断層かどうか、今後地道に調べていく必要がある。

(5) 活断層はどうして探る？

地表に姿を表している断層を丹念に調べること、これは断層調査の第一歩である。しかし目に見えない断層もたくさんあり、それが非常に



茨戸油田地下構造図



茨戸油田横断面図

図18 茨戸における石油探査で得られた地下構造 (石油資源開発株)

危険なことも十分あり得る。見えない断層はどうして探るか？それには、石油探査のような精密な地下構造調査、深井戸による調査、実際に地下を掘るトレンチ調査などがある。

また、それらの断層が現在もそしてこれからも地震を引き起こすような活動的なものかどうか絶えず観察していく必要がある。それには、今よりもっと密な地震観測網を展開し、小さな地震までも震源を特定できるようにしていくことが大切である。

断層を探るにも、またそれが活動的かどうかを知るにも、膨大な経費を要することはまちがいない。それでも、大地震の後の被害の大きさや失われる人命の尊さを思うと、このような経費はそれほど高いものではないはずだが？

5. おわりに

「地震はなぜ起こる」ということについて、いろいろ述べてきたが、一言でいうと「地震はプレートが動くから起こる」のである。このような結論に至るまでに述べた大切なことを最後にまとめておこう。

- 地震はきまったところ（=同じところ）に繰り返し起こる。
- 地震は「密集地域」の隙間を塗りつぶすように起こる。
- 「密集地域」の中で、ある期間地震活動の低いところを「空白域」と言い、「空白域」の発生は地震の前兆現象と考えるべきである。
- 地震は断層運動によって引き起こされる。
- 断層は絶えず地震波を出しながら周辺に広がる破壊によって作られる。
- 断層は大きければ大きいほど、大きな地震動を地表に送り出す。
- 余震は「断層作り」の「仕上げ」として起こる。仕上げに要する時間は断層が大きければ大きい程長くなる。100年以上かかる場合もある。
- 余震の分布により、最終的に出来上がる断層

の輪郭を知ることが出来る。

- 断層運動は、地球内部の物質の不均質などところに異常に集中するストレスによって引き起こされる。
- 断層運動の元になるストレス集中は、プレートが絶えず動き続けるために生じる。

〈参考文献〉

- 「地震」 ブルース A ボルト著、
松田時彦・渡邊トキエ訳
古今書院、1995。

2. 小惑星

札幌市青少年科学館天文技術専門員 渡辺和郎

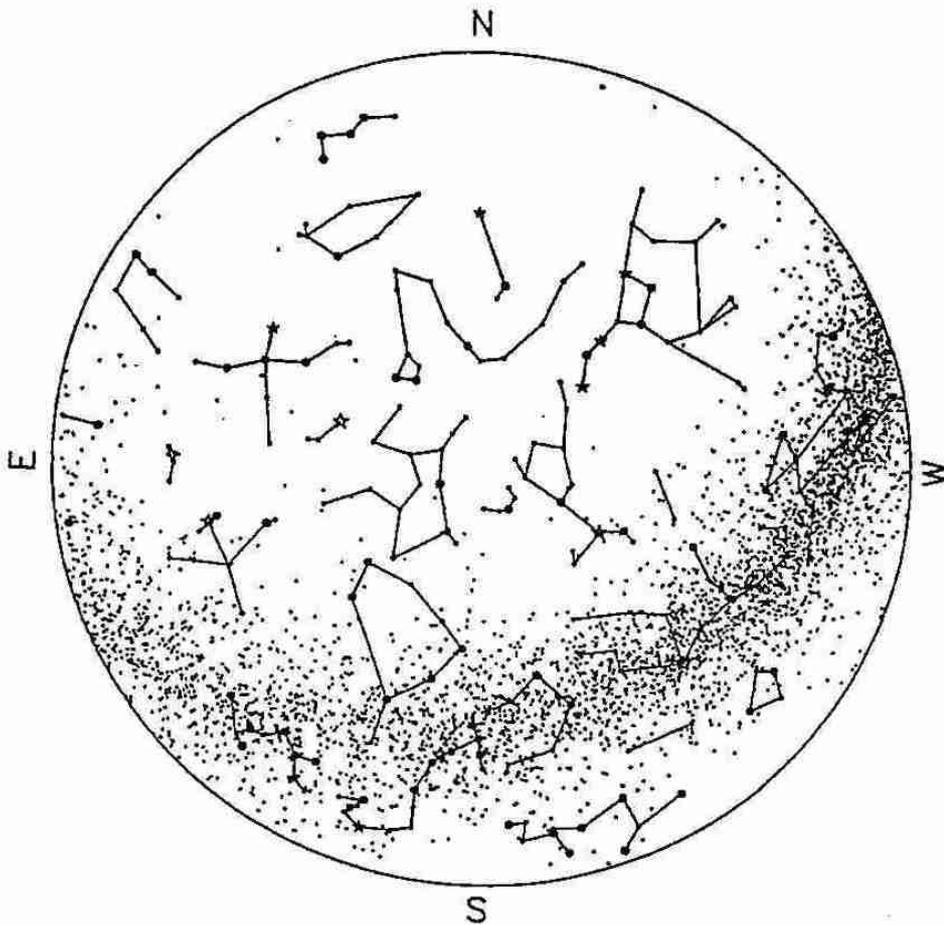


図1 1995年6月17日22時の夜空に小惑星の位置をプロットする
(吉川真：小惑星会議資料から)

1. はじめに

夏休みはキャンプや海水浴などで山や海へと自然にふれる機会が多くなる。そんな折、野原に咲く美しい花を見つけて

「何と呼ぶんだろう？」

と、その名が気になったり、森で見かけた珍しい鳥の名が妙に知りたくなったりしたことはないだろうか。そんな経験の一つや二つは誰も

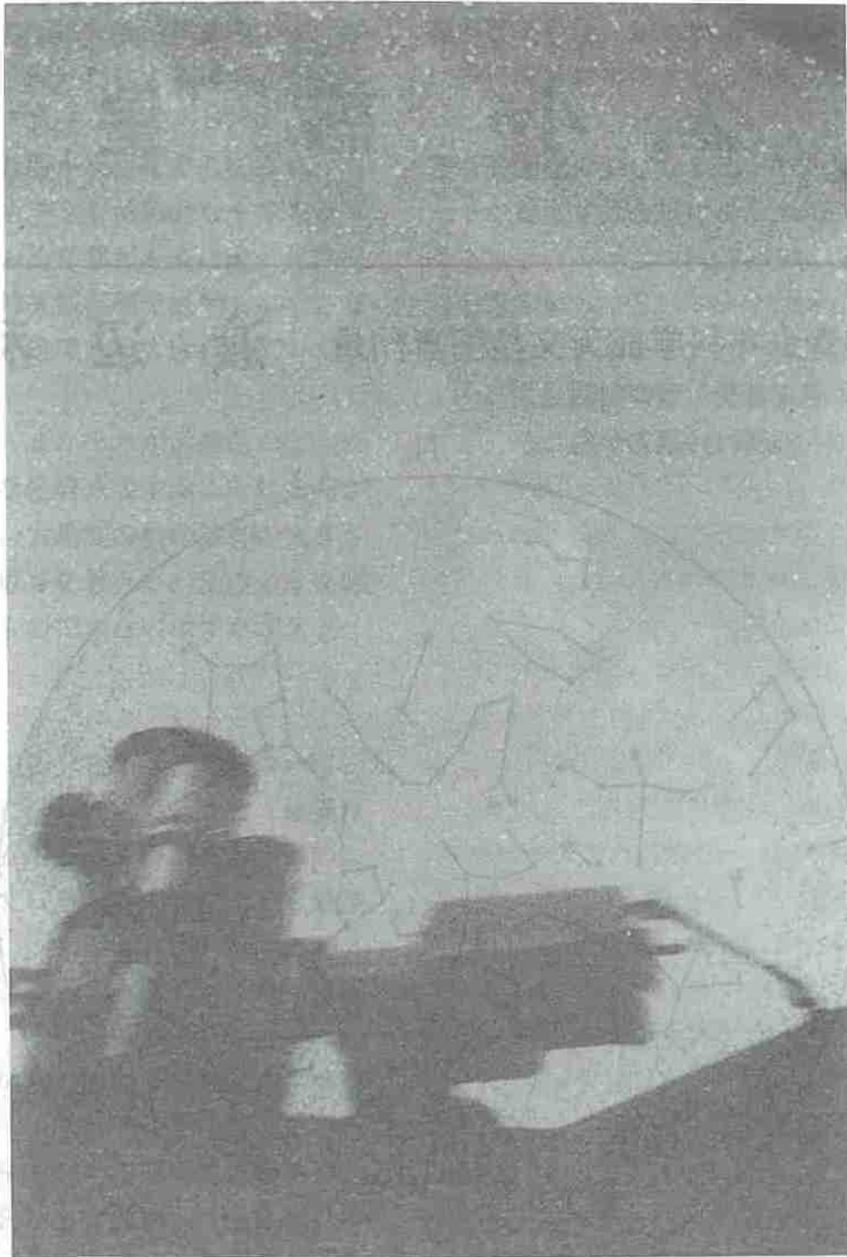


写真1 夏の夜空に流れる天の川

がもっている。もう少し勉強していたら、花や鳥ともっと楽しく接することができたはずである。

キャンプ・ファイヤーの終わった夜空に雲のようにかかる天の川、満天に降るような星々を見て同じように感激し、星の名やそれにまつわる由来を少しでも知っていれば、星空を見るのがもっと楽しくなったろうと思った人もまた少

なくない。都会をちょっと離れると、星座の形が分からなくなるほど、まだまだたくさんの星を見ることができる。

天の川をはさんで明るい二つの星が一年に一度だけ会えるという、織姫と彦星にまつわる恋のお話しは、ロマンチックな星の話しの代名詞として、七夕(たなばた)の頃になると今でもたくさんの人に語り継がれている。 【写真1】

2. 星の名前

中国から伝えられた星の名前である二つの星、「織姫」「彦星」は、国際的にはそれぞれ、こと座の α 星「ベガ」、わし座の α 星「アルタイル」と呼ばれる。

星や星座、天体名には現在、世界中の天文学者が集まる国際天文学連合(I. A. U.)によって万国共通の名称(学術名)として固有名、番号、記号が付けられている。主にギリシャ神話から採択されたものが多く、西欧文化の影響が色濃く残り、残念ながら日本や中国の名称はほとんど採用されていない。

谷村新二が唱う「すばる」はれっきとした和名で、国際的にはプレヤデスと名付けられているが、我々には「すばる」がいい。

中国の「歳星(さいせい)」は、12年で太陽のまわりを回る公転周期をもつ木星のことである。りゅうこつ座の α 星カノープスは南天低く見ることが難しいため、この星を見ることができれば長生きできると言い伝えられることから「老人星」と書く。全天一明るい、おおいぬ座の α 星シリウスは、その輝きが狼の眼のように鋭いところから「天狼星」とも呼ばれる。

西洋のカタカナ読みもそれはそれでいいが、漢字で表現する星や星座の名称には東洋人でなければ分からない意味の深いものや、響きのいいものが数多くあるので一層残念でならない。

もし、星に自分で好きな名前が付けられたら、これはもっともっと楽しいに違いない。しかし、そんな状況であるから個人レベルで自由な名称を星に付けることは無理といえる。

ところが、夜空に輝く星には見かけ上は同じように見えてもいくつかの種類がある。星座をつくるのは恒星、新しく輝くのは新星、明るさを変えるのが変光星、夜空に糸を引くように流れるのが流星、太陽の周りを回るのが惑星や彗星。

それぞれが意味をもって区別される星の種類だが、そんな中で惑星の仲間のひとつである小

惑星については、近年になってその数が多く見つか初期の頃採用していたギリシャやローマの神話や古典に登場する神様や女神化した名前だけではとうてい足りなくなってきた。

そこで今では未知の小惑星を見つけた発見者がわりと自由な名称を提案できるようになった。ただし、ヒトラーなどに代表される政治家は評価が定まる没後百年を過ぎなければダメとか、16字以内でなければならないとか、一部に制約が少し残っている。

3. 小惑星の名前

「小惑星の命名辞典」(Dictionary of Minor Planet Names)という、一冊の分厚い本がある。この辞典には第1号小惑星(1)Ceresに始まる、多くの小惑星に冠された名前の由来が書きつづつてある。ペラペラとめくってみると後半の方には多くの日本に関連する名前が見つけれれる。

【写真2】

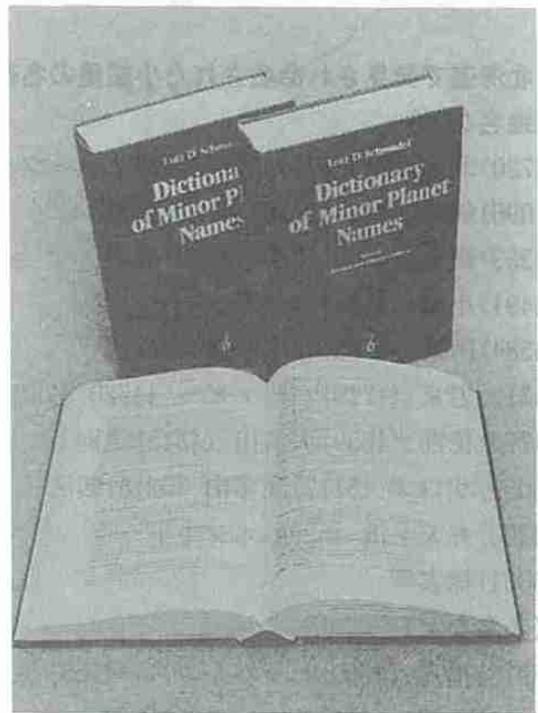


写真2 小惑星命名辞典

1995年7月現在、6600星の小惑星が登録されているその命名の由来を綴った辞典は第2版が出版された

世界の天文学者たちがつくるI. A. U. の第20委員会にあたる“彗星小惑星の位置と運動”という委員会が所管し、小惑星の発見に関連する情報すべての事務が、米国マサチューセッツ州ケンブリッジ市のハーバード大学に同居するスミソニアン天体物理学天文台に事務局置かれる「小惑星センター」によって執り行われている。

現在、新しい小惑星を発見し国際的なルールに則り、小惑星センターに報告・発見が認められると、その名前を優先的に提案する権利が発見者に与えられている。この提案を尊重し命名委員会が審査し、学術名としてI. A. U. によって全世界に公式に発表される。こうなれば、人類の文明が続く限り未来永劫にその名は残ることになる。

そんなことから新しい小惑星を日本では専門の学者以外に多くのアマチュア天文家も発見し、ユニークな名前を提案している。しかも、その大半は1987年以降に集中し、その半数以上が北海道で盛んに発見されていることは、あまり知られていない。

●北海道で発見され命名された小惑星の名前 〈地名など〉

(3720)北海道 (3867)知床 (4042)オホーツク
(4096)釧路 (4126)摩周 (4127)京極
(4263)網走 (4350)標茶 (4460)美幌
(4491)小樽 (4547)マサチューセッツ
(4584)阿寒 (4585)相内 (4644)雄武
(4712)岩泉 (4719)バーナビー (4720)鳥取
(4774)穂別 (4839)大雪山 (4845)津別
(5059)サロマ (5117)藻琴山 (5215)鶴居
(5293)弁天ヶ浜 (5294)オンネトー
(5331)襟裳岬

〈人名など〉

(3915)福島 (4000)ヒッパルコス (4155)渡辺
(4215)加茂 (4260)箭内 (4282)円館
(4284)下保 (4343)哲也 (4454)久美子
(4455)るり子 (4497)田口 (4500)パスカル

(4508)高槻 (4557)美香 (4613)衛 (4631)藪
(4672)啄木 (4676)上田清二 (4677)宏
(4714)豊寛 (4718)荒木 (4743)菊地
(4746)土井 (4750)向井 (4771)林 (4773)早川
(4795)木原 (4842)篤志 (4844)松山
(4863)保谷 (4905)裕美 (4975)堂本
(5005)ケグラール (5035)スイフト
(5036)タットル (5060)米田 (5070)荒井
(5112)草地 (5187)土門 (5213)高橋
(5291)優子 (5372)ビッキ (5404)植村
(5481)木内

〈物 その他〉

(4410)カムイミンタラ (4459)幣舞橋
(4494)マリモ (4607)セイランドファーム
(4645)天体工場 (4747)十条 (4971)星の広場
(4973)昭和 (5064)丹頂鶴

〈注〉

- 1) 1995年7月1日現在、北海道で発見された小惑星は243星。80星あまりに命名されているが、まだ160星が命名されていない。
- 2) (5070) Arai = 1991 XT は [荒井都之助] のことで、初代中央気象台長。北海道のアマチュア天文家によって命名が提案された。
- 3) 南極で生き残った太郎・次郎を提案したが、犬の名ということで現在も保留の状態になっている。これは残念でならない。ペットの名と混同された模様だが何とも悔しい思いをしている。

【写真3】



写真3 北海道札幌出身の故下保茂(東京天文台:左)と福島久雄(北大名誉教授:右)は(4284)Kaho、(3915)Fukushimaの小惑星として夜空に光っている

(ただし、本編最後の 19. 規模 が現実になれば意味がなくなるが…)

お世話になった大先輩や星仲間、同じ観測をする友、小さい頃育った故郷の名前、一円にもならない天体観測に理解を示してくれる女房、等々。その名前を小惑星に付けて少しでも恩返しができるれば、そう思って付けられた名前も多い。

4. 平成教育委員会

$$1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 8 \cdot \square \square \cdot 32 \cdot 64$$

の□□にあてはまる数字は？

子供の頃にさせられた知能指数試験や学校を卒業する時に受けた公務員試験などで、列挙された数字のある箇所を解くという問題があった。答えはもちろん16である。

これは前後の数字の流れからその関係をひらめきで探るといものだが、テレビの平成教育委員会ではないが、これと似た問題は昔からあったようだ。

ここで少し古い話して恐縮だが、事実は小説より希なりという言葉があるように、天文学史に燦然と輝くウソのような本当の話に少しおつきあい願いたい。

今から約220年以上も前にさかのぼる、1772年のことである。当時、惑星は肉眼で見える明るい土星までの6星（水・金・地・火・木・土）しか知られていなかった。

太陽から、水星…土星までの距離を示す数字である、

水星	金星	地球	火星	木星	土星
4	7	10	16	52	100

を見ていた一人の学者チチウスは妙なことに気がついた。

「それぞれの惑星までの距離には、規則的な間隔があるようだ」

5. チチウス・ボーデの法則

どうしたことなのか、今一度分かり易く説明してみる。

惑星は正確には太陽の周りを少しつぶれた楕円軌道で回っている。そこで、それぞれ太陽からの平均距離(天文単位)がどのくらいあるのかを比較しやすいよう、太陽から地球までの距離を10とした尺度で表してみると、

$$4 \cdot 7 \cdot 10 \cdot 16 \cdot 52 \cdot 100$$

という数字で、それぞれの惑星の距離を表すことができる。

これら数字の間に、チチウスはある規則性を見いだしたというのである。どんな規則性なのかをちょっと考えてほしい。 【図2】

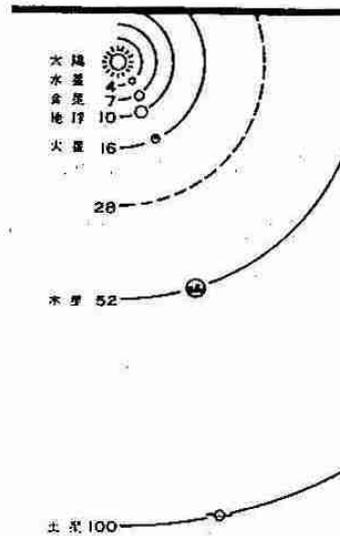


図2 太陽から天王星まで各惑星を等比率で表した図

この考え方を正式に公表したのはドイツのベルリン天文台の天文学者ヨハン・ボーデであった。そこで、この考え方はチチウス・ボーデの法則と呼ばれるようになる。 【写真4】



写真4 ボーデ Bode, Johann Elert (1747-1826)

この数字をひと目見てチチウスやボーデのように考えることができれば、誰もが後世に名を残す偉人になれるかも知れない。ただし、ほとんどの人は首を傾げてしまうことになるだろう。

6. 謎解き

では、どういうことか？ という、ここでたね明かしをしてみたい。

水星は太陽から4の距離にあり、金星は7(4+3)、地球は10(4+6)、火星は16(4+12)、…(4+24)はおいといて、木星は52(4+48)、土星は100(4+96)という具合に、水星の距離である4に3・6・12・24・48・96という倍の数字を加えていく。

要するに、28という数字を火星と木星の間にあてはめると、それぞれの惑星の距離に一つの法則が成り立ち、ピッタリ一致するという考え方だった。

これは単純だが、うまくそれぞれの惑星の間の距離をいい当てていて、説得力を持っていた。ただし、現実には28の場所に惑星は存在しないから、この考え方は話題としては十分に面白かったが、いまひとつ真実味に欠けていた。しかし、逆にこの位置にひょっとしたら未知の惑星が存在するかも知れないという想像をかきたてることにもなった。

ところが、この「チチウス・ボーデの法則」が、にわかに脚光を浴びることになる。

7. 天王星の発見

1781年、イギリスのアマチュア天文家ウィリアム・ハーシェルが双子座に偶然見なれぬ星を見つけ、それが土星の外側にあたる太陽系第7惑星「天王星」の発見となった。しかも、天王星の見つかった場所が、おおよそ $192(4+192=196)$ 。なんとチチウス・ボーデの法則をそのまま延長する位置にほぼ合致していたため、学会は騒然となった。

「やはりチチウス・ボーデの法則には意味があったのだ。ということは28(4+24)の位置にも、きっと未知の惑星が存在している！」

そう考えても不思議ではない。

この法則の評価が再び高まったのはいうまでもない。ここまで見事に法則にあてはまっていれば、当然ともいえる論議を醸し出したのである。

そう考えたドイツの天文学会は、フォン・ツァッハの発議によりシレーテルを団長とする「未知惑星搜索連盟」を編成し、惑星の通り道である黄道を24区画に分け、28に位置する惑星を総力を挙げて組織的に捜し始めることになったのである。

8. ピアッジの発見

1801年1月1日、その第一報を寄せたのは意外にも遠く離れたイタリアのシシリイ島パレルモ天文台で、それとは全く関係のない星の位置

を決める台帳づくりをしていたピアッチからであった。

19世紀の幕開けの日、ピアッチはおうし座で移動する8等級の星を見つけ、ボーデに報告を寄せたのである。それこそが移動のようすからボーデが予測し28に位置する搜索中の未知惑星と思われた。 【写真5】



写真5 ピアッツィ Piazzi, Giuseppe (1746-1822)

しかし、当時の通信状況は悪くボーデの元にその知らせの手紙が届いたのは1カ月あとだった。間違いなくそれが28の惑星かを決めるにはもう少し追跡観測を行って、軌道を正しく求める必要があった。ところが、すでにこの未知惑星は太陽の方向へ移動し観測ができなくなっていたのである。万事窮す、せっかく見つけた未知惑星は軌道を求めることもできずに、再び闇の中へと消え去ることとなってしまった。

9. ガウスの登場

ところが、歴史は必要に応じて優れた人材を排出する。ここに、短期間の少ない観測から未知惑星の将来の位置を計算する方法を考え出した人物がいた。

「最小自乗法」を考案し、若干20歳で若き天才数学者の名をほしいがままにしていたガウスの登場である。この名はビップ・エレキバンテレビCMで磁力密度の単位として耳にしたこ

とがあるはずである。

ガウスは恩師チンメルマンにすすめられ日頃の研究成果をケレスで試してみた。自分の考えた計算法によって未知天体が再び現れる位置を予測したのである。これは当時の天文学者にとって暗夜に燈明を得たようなものだった。

1802年、ピアッチの見つけた未知惑星はガウスの予測した通り、再びフォン・ツァッハによって捕捉され、さらに翌日プレーメンのオルバーズにも捕捉され、28に位置する惑星が確定したのである。それは1年間も蒸発していた親が帰ってきたようなものであった。

ガウスのこの方法は現在もお軌道を求める方法として使われている。

かくして、ここに単に数字を眺めていたひらめきで惑星が見つかるという、事実は小説より奇なりという、劇的ともいえる惑星捜しの顛末があった。

10. ケレスと命名

発見者ピアッツィの住むシシリー島の守り神の名をとって、それは「ケレス」と名づけられた。永く注目されてきた火星と木星の空間がケレスによって充たされ、太陽系の構成に関する永い間の疑問が遺憾なく解決したかのようにみえた。

ところが、自然は意外な事で人を驚かせる。

ケレスは明るさから火星の直径の百分の一足らず、惑星としてはあまりに小さ過ぎることがわかり、また新たな問題となった。それにもまして、またまた奇妙な発見が続いたのである。

ケレスの再発見の4ヶ月後、すなわち1802年3月28日、オルバーズは偶然にもケレスを発見した方向と同じところに望遠鏡を向け、別の天体を見つけたのである。ガウスの敏速な計算によってこれも28に位置する惑星と分かった。

天文学者たちはこの発見をなかなか認めようとはしなかった。チチウス・ボーデの法則によれば、ここに何個も惑星があってはならなかったのである。

これに習うように、同じように28の位置に軌道を持った2個の小さな惑星が1804年リリエントールの天文台のハーディング、1807年オルバースによって相次いで見つかリ、ケレスの仲間が4個にも増えてしまったのである。のちに4大小惑星と呼ばれるようになる「パラス」「ジュノー」「ベスタ」の発見である。【図3】

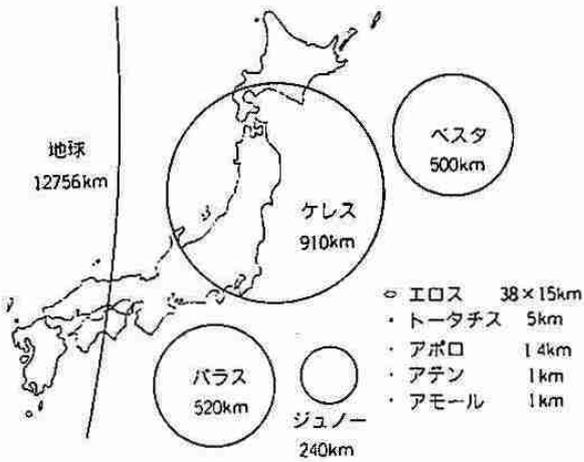


図3 4大小惑星と代表的な小惑星の大きさ (小島卓雄：地球を襲う危険な天体より)

*もともとは「ケレス・フェルディナンド」(ラテン語)と呼んだ。英語読みでセレスと呼ぶ人もいる。ケレスはイタリアの神でフェルディナンド四世がシシリーの統治者。現在はケレスだけで呼ぶ。

11. アステロイド (小惑星)

チチウス・ボーデが自らの法則で予言した火星と木星の間には、大きな惑星ではなく実はたくさんの小さな惑星が存在していたのである。ハーシェルはその見かけが恒星のように点に近いことから、これらをアステロイド (星に似たもの) と名づけた。【写真6】

こののち半世紀の間に13個の小さな惑星が次々と発見され、ドイツを中心に多くの小惑星が発見されるようになる。小惑星を見つければ賞金が与えられ、発見に成功した者には経済的援助を与えるという市まであったそうだ。

やがて写真術が取り入れられて、無数の小惑星の存在がはっきりし、現在まで数万星の小惑星が見つかり、6600星あまりの小惑星の軌道が正確に求められている。

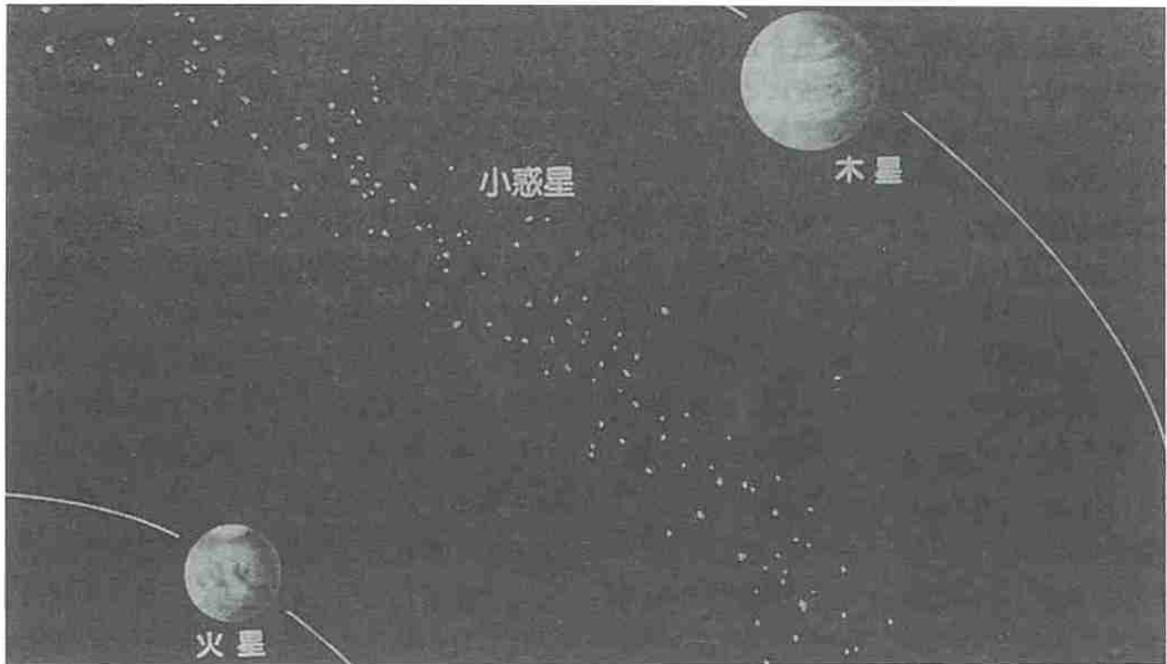


写真6 火星と木星の間には、たくさんの小さな惑星が存在していた それをハーシェルはアステロイド (小惑星) と呼んだ

(GOTO)

ただし、その後の天王星以遠の惑星、海王星(301)や冥王星(395)の発見によって、平均距離はチチウス・ボーデの法則に合致せず、この法則は次第に経験則としての評価に下り、学会から忘れ去られていった。

(法則では海王星が388、冥王星が772となるはずである)

たくさんある小惑星は見かけ上は光る点としてしか分からない。それが太陽の周りをグルグル回って麻雀のパイのように混ざっては、どれがどれだか区別がつかなくなる。そこで、個々の小惑星を明確に区別するために軌道要素という、小惑星の通り道を示すものが求められる。太陽からどのくらい離れたところをどんな形で、どのくらい傾いて、周期は何年でという具合に、ちょうど人の戸籍のように、この軌道要素があればそれぞれを簡単に区別できる。

この軌道要素が決まったところで登録のための番号を付し小惑星として確定している。この時点で初めて発見者に命名の提案が認められているのだ。

これら小惑星のほとんどは火星と木星の間で帯状に広く分布し、小惑星帯と呼ばれるように

なった。

【図4】

12. 小惑星の成因

小惑星の集まる28の位置には、過去に一つの大きな惑星が存在していて、何らかの衝突か破壊によってバラバラになったものではないかと、これまで考えられてきた。しかし、存在し得る全ての小惑星を合算しても、その質量は小さい惑星にも匹敵しない。また、小惑星は同じようなグループに分けられることから、いくつかの惑星が存在していた可能性も指摘されている。

今、太陽系がどのようにできたかを研究するグループでは、小惑星のような微惑星がお互いに衝突・合体を繰り返して、大きな惑星に成長していったというのが定説になっている。惑星は地殻(大地)をもつ地球型惑星とガスが主成分の木星型惑星とに分けられるが、ちょうどその分かれ目が火星と木星の間の小惑星帯にあって、太陽系ができあがる上で、何らかの要因で小惑星帯を境に二つのタイプに分かれたのであろうと考えられている。 【写真7,8】

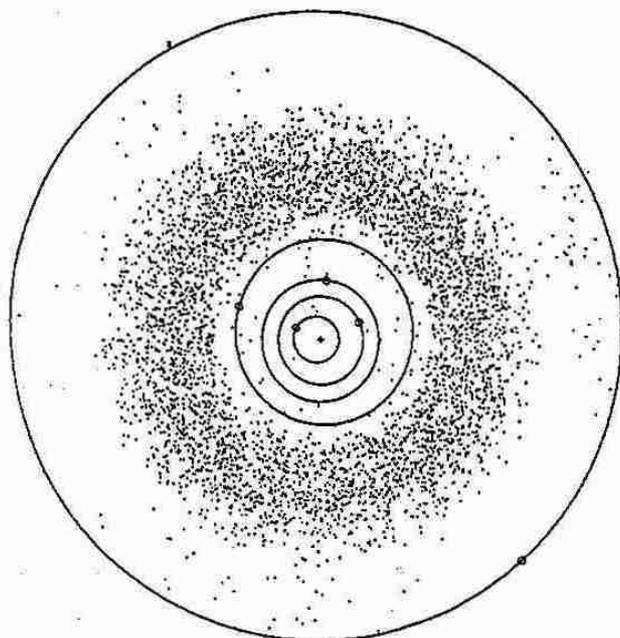


図4 1988年3月8日における5059星の小惑星の位置

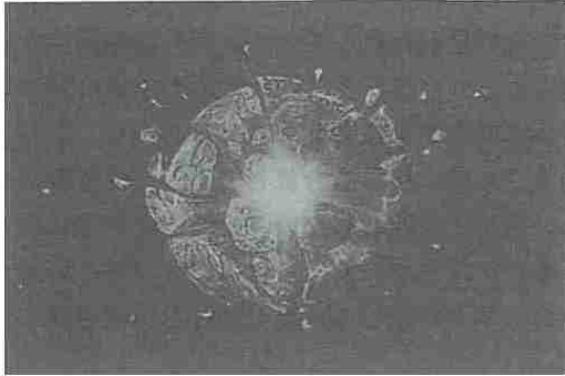


写真7 (GOTO) はじめ、小惑星は一つの大きな惑星が何らかの理由によって破壊されたものではないかと考えられていた

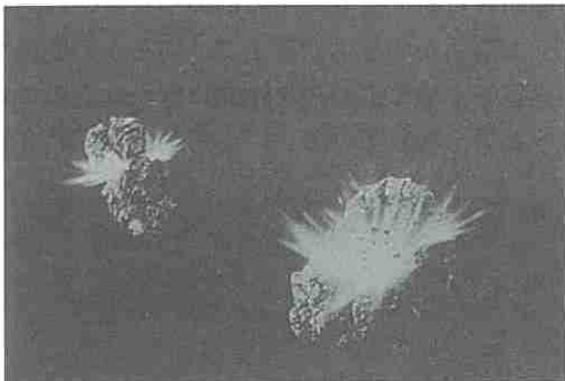


写真8 (GOTO) 小惑星どうしが衝突・合体を繰り返して惑星へと成長していく

巨大惑星の引力か何らかの影響を受けて惑星になりそこねた小惑星は、そのままそこに取り残された。その頃のように今だにとどめているのが小惑星そのものに他ならない。すなわち小惑星は微惑星の生き残りで、太陽系形成の頃の原始の姿で残っている宇宙の化石のようなものといえることができる。

【図5】

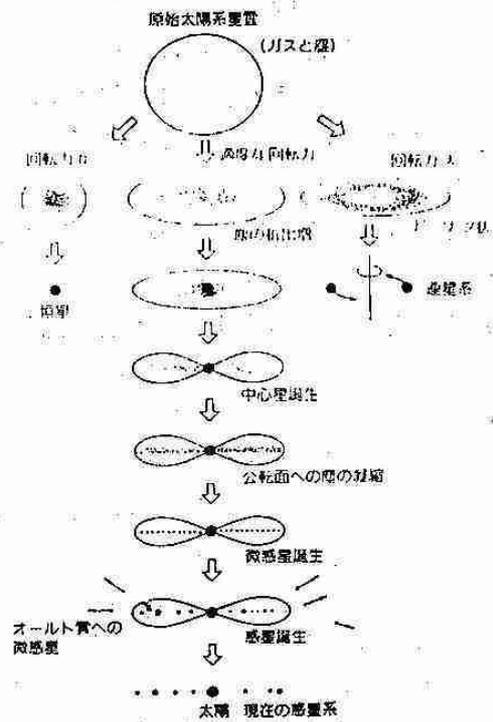


図5 太陽系誕生のモデル図 (小島卓雄：地球を襲う危険な天体より)

13. 月と地球上の痕跡

“月”は天文ファンが天体望遠鏡で見る最初の天体といわれる。遠い存在である宇宙の天体に比較し、地球からわずか38万キロメートルと距離が近く、表面は複雑な地形や凸凹のクレーターに被われ見ているだけでも楽しい。

ところで、これらたくさんのクレーターはいったいどのようにしてできたのだろうか。

月のクレーターのできた原因は岩石の衝突によるものである。小惑星のような鉄や岩石質のごく小さいものが、何らかの条件が重なって偶然月に衝突した。これが月ではなく地球に落ちてきた場合が隕石となる (成分により隕鉄とも呼ぶ)。ただし、地球に突入してくる数十センチ内外のごく小さなものは大気の摩擦で地上に達する前に破裂し燃え尽きてしまう。

地球は月に比べ雨や風によって地上の景色を風化させてきた。そんな痕跡は普通にみたくらいでは分からない。空気の無い月ではその衝突痕が風化することなく過去何万、何千万年にわ

たって積み重なり、そのままの姿を今にとどめている。そう考えると月のそばにある地球にも、同じような割合で隕石が降り注いでいたとしても不思議ではない。

そこで、人工衛星などの最先端技術を駆使し詳しく調べると、地上にも多くの衝突クレーターの痕跡が見いだせる。その数およそ150箇所。

その代表格がアメリカ・アリゾナ砂漠に見られるバリンジャー隕石孔だ。2万年から5万年前に直径30メートルくらいの隕鉄の衝突によってできた、直径1.2キロメートル、深さ120メートルの大クレーターである。

これらは地球にも過去にたくさんの隕石が衝突していたことを証明している。【図6】

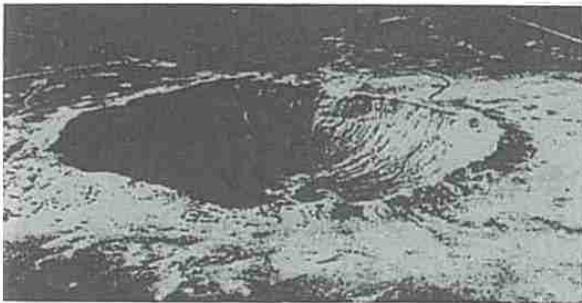


図6 アリゾナのバリンジャー隕石孔

ジャインアント・インパクト説というのが、このところ論じられている。月がどのようにしてできたかを探るものであるが、それは火星クラスの天体が地球と衝突し、飛び散った破片が再び地球のそばで集積し月という衛星となったという内容である。

宇宙での天体どうしの衝突は、過去の歴史の中では日常茶飯事のできごとだったのかもしれない。

14. 変わり者

多くの小惑星は火星と木星の間の小惑星帯と呼ぶメイン・ベルトに軌道を持つ。ところが数が多くなると人間社会でも同じようなことがあるが、必ずそこから逸脱する変わり者がでる。

小惑星も同じでメイン・ベルトからはずれた軌道を描く小惑星が観測技術の進歩に合わせて見つかるようになった。【図7】

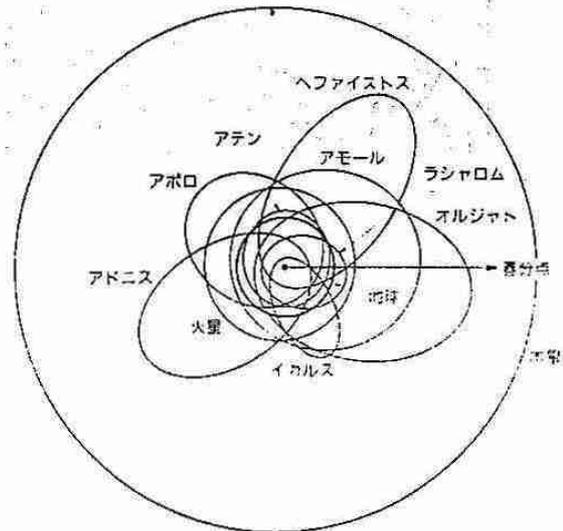
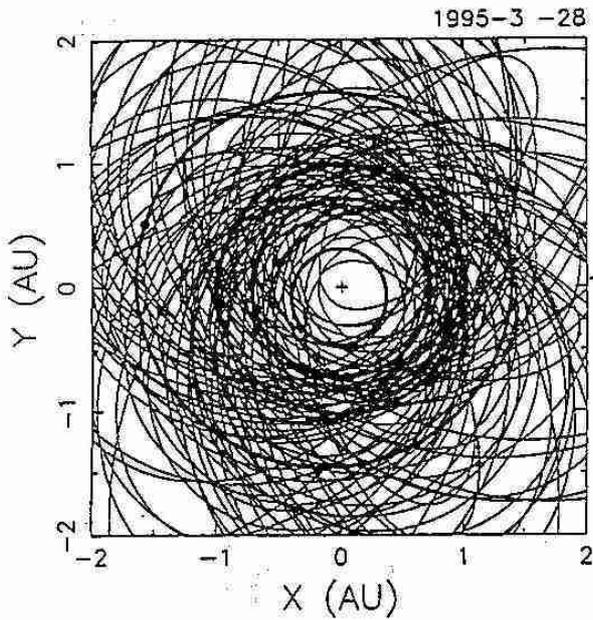


図7 代表的なアポロ・アモール型特異小惑星の軌道 (小島卓雄：地球を襲う危険な天体より)

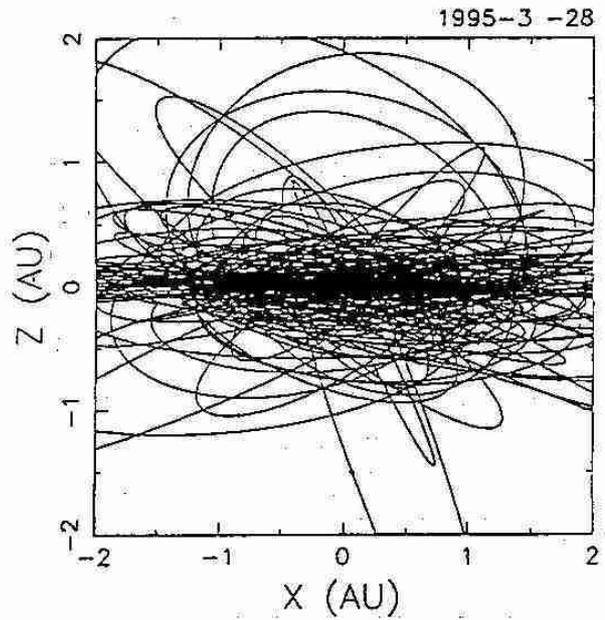
地球軌道の内側まで入り込むアポロ型や火星軌道の内側までやってくるアモール型や地球軌道の内側にいるアテン型と呼ばれるのがそれだ。これらをまとめて特異小惑星(AAA天体)と呼んでいるが、単に特異な軌道を持つことだけでは片付けられない。凡人から見れば変わり者でも、後世になって歴史に残るような偉人が多かったように、今、この特異小惑星が別な意味で興味が注がれている。【図8】

図8 地球軌道の内側まで入り込む小惑星の軌道

(115個)



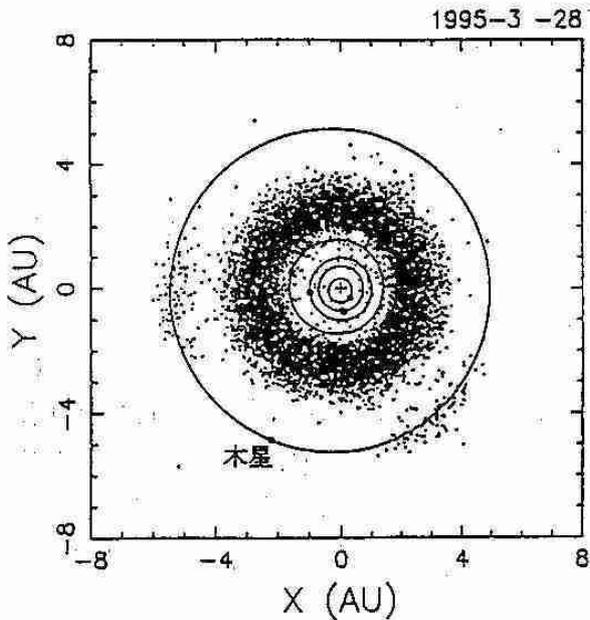
黄道面に投影



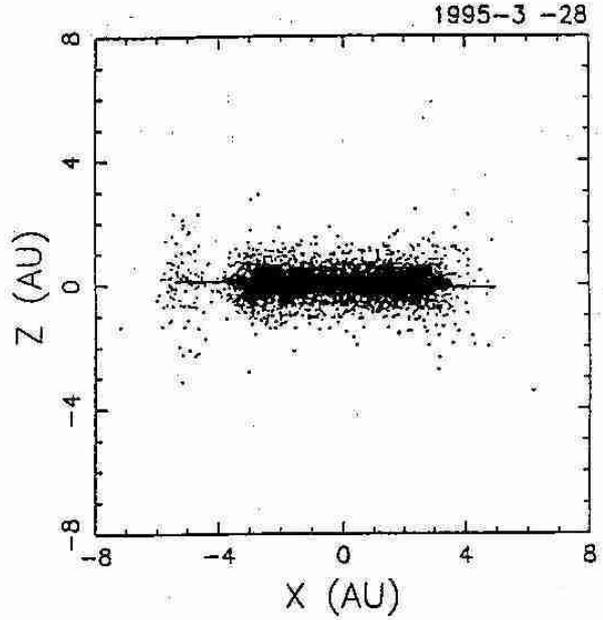
黄道面に垂直な面に投影

1995年3月28日の小惑星の分布

(約10,000個)



黄道面に投影



黄道面に垂直な面に投影

(小惑星会議 配布資料: 吉川 真)

15. 記録更新

1991年1月18日、天文学史上初めての観測が行われた。それは1991BAと符号を付けられた特異小惑星である。一晩に夜空の見かけ上の角度数十度をいっきに移動した。このことは地球にごく近かったことを意味する。計算からわずか直径10メートルほどの岩石が、地球から17万キロメートルのところを通過したと考えられた。

【写真9】

今まで望遠鏡が発明されて観測が始まって以来、月より内側に入ってきた天体が観測された

事実は無かった。アメリカ・キットピーク天文台の最先端CCD天体カメラによってみごと捕らえられたのである。

17万キロといえば月までの距離の半分、天文学的距離からいえば、これはもう地球をかすったといってもいい。最近の観測技術の進歩は眼視から写真術、そしてCCDへと進歩して、このような天体を捕らえることができるようになった。

ここ数年次々そのような地球をかすめる天体が見つかっている。 【図9】

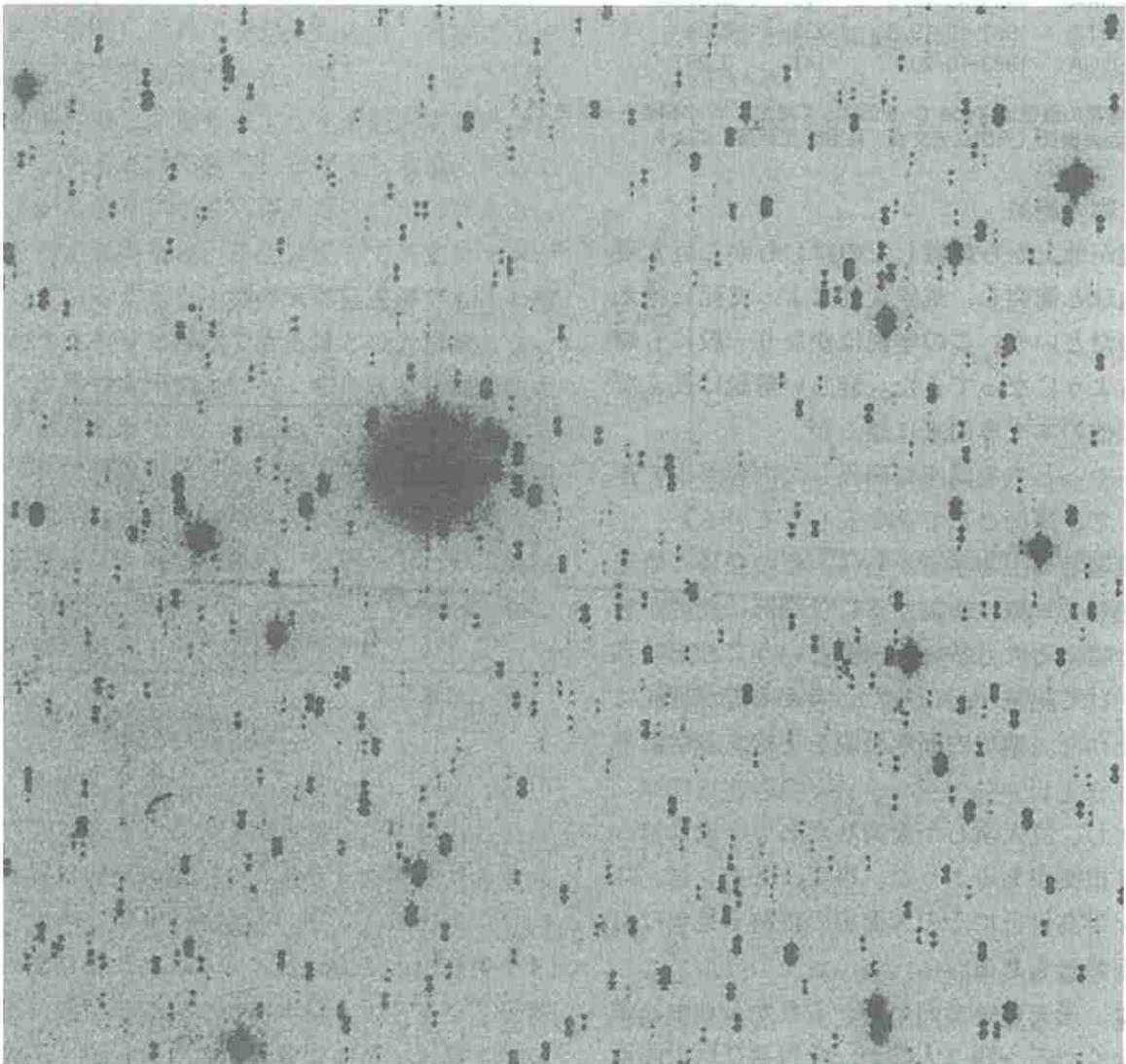


写真9 1994年11月26日、北海道美幌のアマチュアによって観測された特異小惑星 1994WR12

図9

地球に接近した小天体

名前	日付	距離 万km	推定直径 ⁽¹⁾ km	名前	日付	距離 万km	推定直径 ⁽¹⁾ km
1986JK	1986-05-29	269		1994EU	1994-03-09	524	0.05
1988TA	1988-09-30	135		1994ES1	1994-03-15	17	0.013
1989FC	1989-03-23	75	0.1	1994FA	1994-03-13	658	0.06
1990HA	1990-04-06	460	0.9	1994GK	1994-04-08	494	0.10
1991BA	1991-01-18	17	0.005	1994GV	1994-04-12	103	0.02
1991TT	1991-10-07	460		1994NE	1994-07-08	269	1.0
1991TU	1991-10-08	73	0.005	1994PM	1994-08-18	643	2.0
1991VG	1991-12-05	46	0.005	1994RB	1994-09-04	643	0.16
1992UY4	1992-09-07	460		1994XL1	1994-12-06	554	0.40
4179 ⁽²⁾	1992-12-08	350	4+2.5	1994XM1	1994-12-09	10.5	0.016
1993KA	1993-05-17.9	106	0.04	1994WR12	1994-11-25	73	0.32
1993KA2	1993-05-20.9	15	0.01				
1993TZ	1993-10-19.5	239	0.04				
1993UA	1993-10-20	141	0.06				

(1)小惑星の直径は Type C を仮定して推定。(2)小惑星トータチス。
*香西洋樹氏(元国立天文台、佐治天文台長)による。

16. 生物の絶滅

恐竜が地上から絶滅したのは、むかし巨大隕石が地球と衝突し、気候変動によって死に絶えたものだという。この学説はかなり一般にも知られるようになってきた。詳しい解説は長くなるので他の本や専門家に譲るが

《注：やっと気象講座に関係した内容が出てきて、講師としてひと安心して》

気象学者や生物学者からは、その立場と研究成果から「一概に極論するには細部に無理がある」と唱える人も多い。一瞬というより永い月日をかけて絶滅が起こったと考える方が理屈に合うそうだ。地球内部起源説を支持する学者もいる。

しかし、巨大隕石が衝突したという説には、かなり根拠があるようだ。事実、メキシコ・ユカタン半島付近にその大衝突の痕跡を見つけたという報告もある。

では、過去はさておいて、これから地上に栄えていけよう我々人類が、今後再び巨大隕石の衝突によって絶滅する危険性はないのだろうか？

【図10】

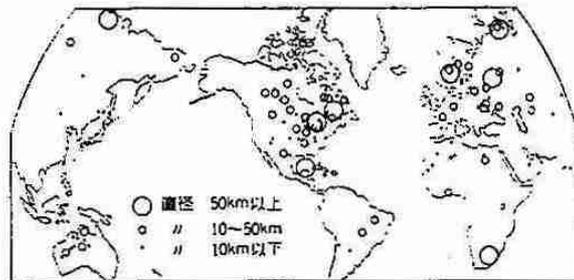


図10 世界各地で確認された天体衝突によるクレーター分布図
(小島卓雄：地球を襲う危険な天体より)

17. SL-9木星衝突

給水制限の水不足でゆれた、昨年1994年7月18日。この暑い夏に歴史始まって以来の出来事が繰り広げられた。新聞やテレビでも取り上げられ覚えている人も多いはずである。幸いにも地球が舞台ではなかったのが大事件にはならず冷静に受けとめられたが、天文学者は千載一遇のチャンスと色めきたった。

実は、アメリカのシュメカ氏とレビー氏が1993年3月に、9番目に発見した彗星(SL-9)が木星本体に激突したのである。過去の軌道を調査すると永い間木星の周囲をグルグル回っていたらしい。そして、ついに捕えられた。この激突を最初に計算で予想したのは、日本のアマチュア天文計算家だった。

当初、地上からそのようすを観測するのはむづかしいとされてきた。なぜなら木星に対して彗星があまりに小さい存在だったからである。ところが激突当夜、予想に反して天文ファンが持っているような小型の天体望遠鏡でもその痕跡がクッキリと確認できるほどの大現象となった。世界中の天文台でも、すさまじい画像をとることができたのだ。

これは想像をはるかに越える大爆発が木星表面で起きたことを物語っている。一説によるとその規模は広島型原爆の一億倍から一〇〇億倍といわれた。激突から半年たっても木星表面に、その痕が残っていたのは記憶に新しい。

【写真10, 11】

18. 衝突の可能性

夜空にスーッと光る流れ星は、そのもとになる物質は彗星の尾がまき散らしたものであるから、大きさはせいぜい数ミリくらいのホコリのようなものである。すべては大気との摩擦で、地上に達することなく燃え尽きてしまう。計算によると毎日世界中に総量で何トンと降り注いでいるそうだが、地球の大気は安全バリアの役目を果たして、これには何の心配もする必

要が無い。

ところが、夜空に怪光を發し明るく飛ぶ火球は、ナイターなどのテレビ中継などでも時々見かけられるが、これは流れ星とはそもそも起源が違う。このクラスは小惑星の部類の隕石や隕鉄が主流をしめている。まれに見られる拳骨大のものが、庭先や家の屋根を突き破ったり、車のボンネットに落ちたという事件が度々起きている。ひょっとすると直径何メートルもあるような、大きな物が降ってきたとしても何の不思議もない。このクラスになってしまうと大気はバリヤの役目を果たさなくなる。

過去の衝突データから統計学的にみみると、その大きさと衝突頻度には次のようなグラフが得られている。

【図11】

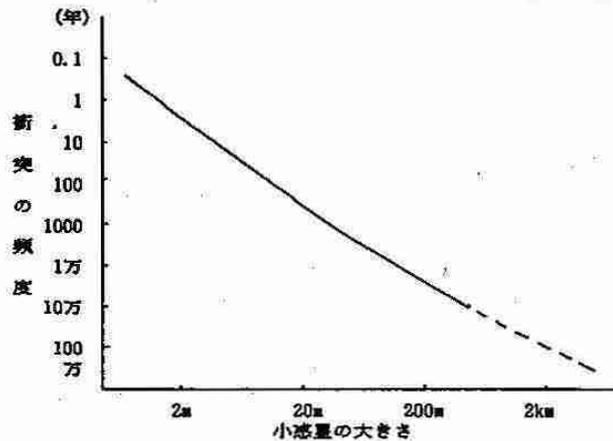


図11 小惑星が地球に衝突する可能性

- 1) 直径 1メートルクラスで 一年に数回
 - 2) 直径 10メートルクラスで 数十年に一回
 - 3) 直径 100メートルクラスで 数千年に一回
 - 4) 直径1000メートルクラスで 数十万年に一回
- 観測が進むにつれて、その頻度はますます多くなっていく傾向がある。

19. 規 模

直径10メートルの隕石が都市を直撃すれば広島型原爆のエネルギーに匹敵するという試算がある。たった10メートルの岩のかたまりである。仮に直径数百メートルだったら、州や小さければ国単位で壊滅し、一千万人以上の死者がでる

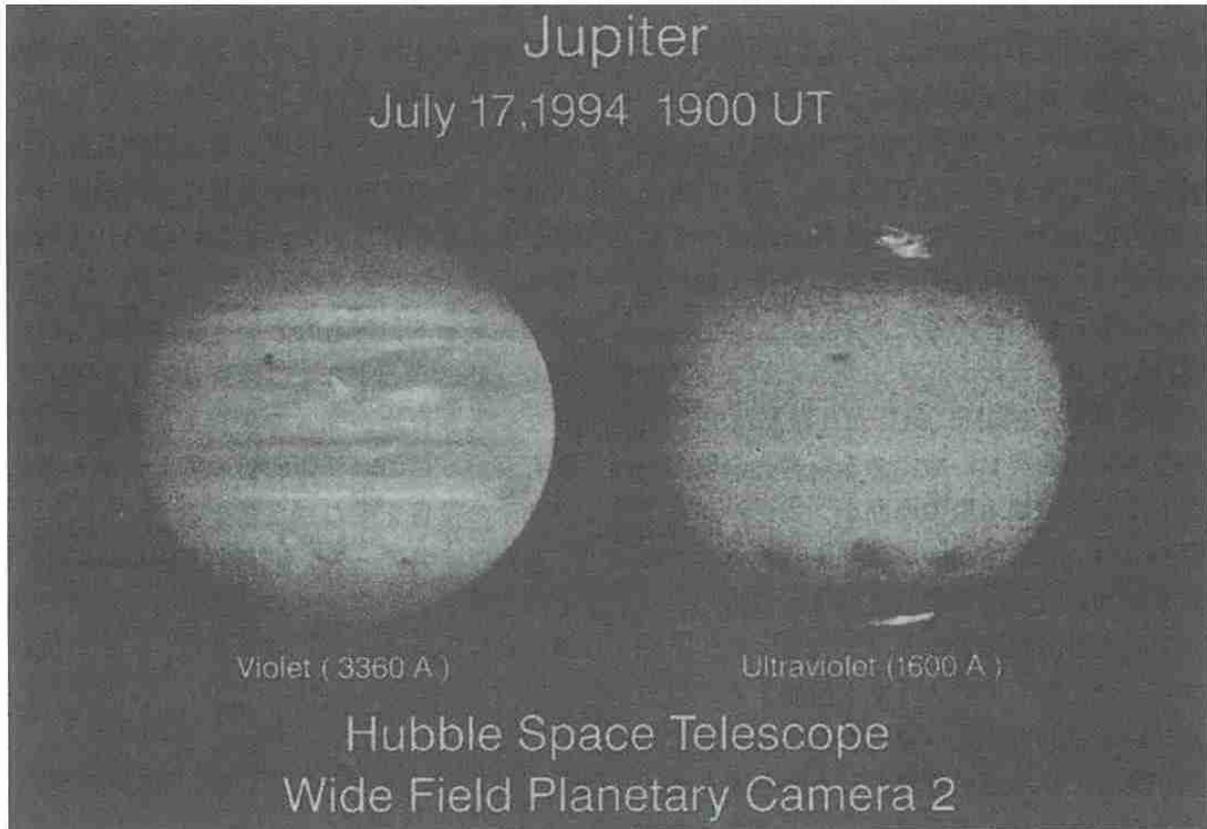


写真10 ハッブル宇宙望遠鏡がとらえた木星像
(左：紫外線、右：遠紫外線にて)

(NASA)

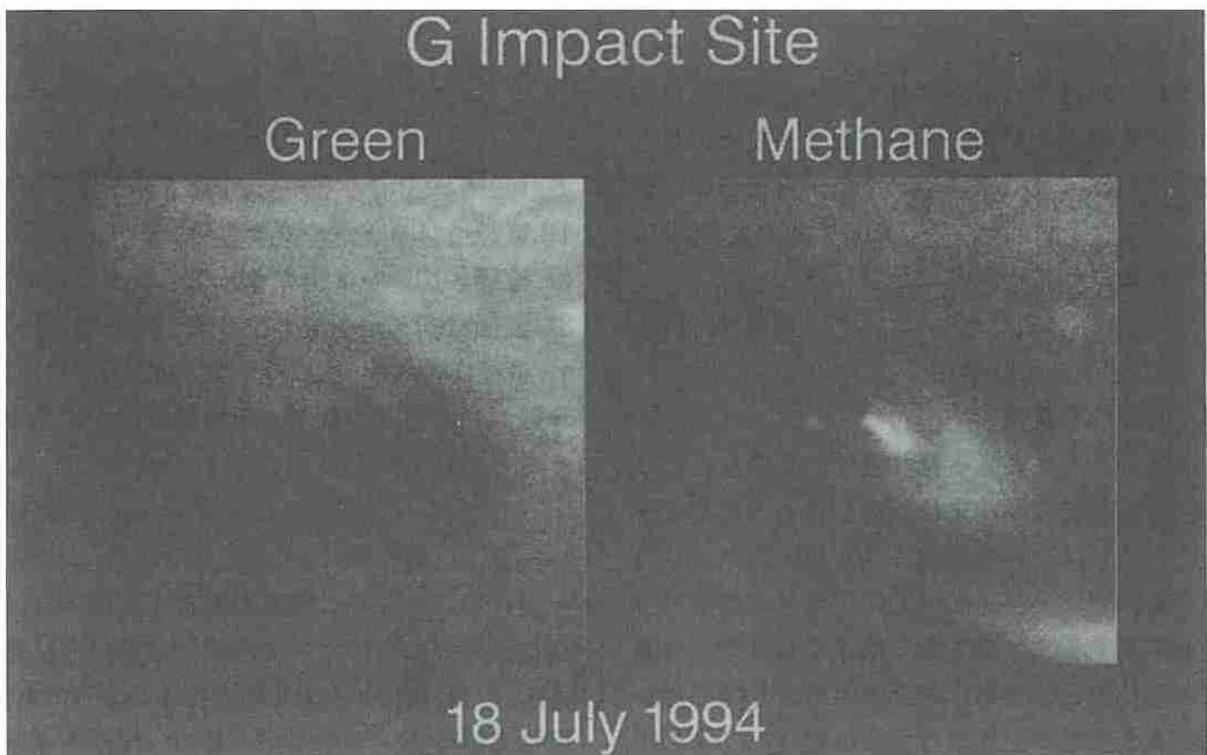


写真11 SL-9のG核の衝突痕

(NASA)

そうだ。もし直径1キロメートルの小惑星が地球に激突すると、それは広島型原爆の10万個分になるという。地球規模で環境破壊を引き起こし、ほとんどの生物は死に絶えるといわれる。

なんと恐ろしい。しかし、原爆何万個分などと数字でいわれても、それがどのくらいの破壊力なのか凡人の頭で想像できる範囲をはるかに越えていて、まったく実感を伴わない。

ならば、たとえば札幌駅から大通りまでの距離に等しい大きさ1キロメートル足らずの小惑星が札幌市の中心地、大通り公園のテレビ塔を直撃したらどうなるだろうか。

想像してみたい。

真駒内、手稲、篠路、白石をひと呑みにする直径20キロメートルで、深さ2キロメートルのクレーターが出現する。大通りを中心にボカッと巨大な穴があき、前述の地域には2キロメートルの高さの切り立った崖が出現する。そのさまを想像してみたい。

爆風や衝撃波は半径60キロメートル圏内の構造物や草木を一瞬にして無くしてしまう。

これはすごいぞ！

これらは地球に衝突する隕石のスピードがものをいっている。ほぼすべての天体は宇宙空間を秒速数10キロメートルという猛スピードで動いている。プロ野球の投手が投げる140キロの超豪速球に比べれば大したことなどない、などとは思わないでほしい。

時速ではない秒速なのである。「い…ち」と数えると札幌から小樽まで飛んでいるスピードなのだ。

その上、地球が太陽の周りを公転しているスピードに正面からぶつかれば、それはものすごい破壊力となってくる。

では実際、どの程度の隕石が落ちると、どのくらいの被害が予想されるのか。

1) 直径1メートルクラスでは

ほとんどが途中の空気抵抗でバラバラになる。被害はない。

2) 直径10メートルクラスでは

海に落ちてくれれば軽い津波程度。都市部を直撃すれば数10万人に被害が。

3) 直径100メートルクラスでは

確実に直径2キロメートル以上のクレーターをつくり、破片は10キロメートルくらいまで飛び散る。都市部を直撃すれば1千万人単位で被害が。

4) 直径1000メートルクラスでは

気候変動を誘発。全世界的破滅か…。

万が一、明日が1万年目や10万年目のその日にあたって、それは自然の摂理なんだと諦めるしかないだろう。それが運命なのである。人類だけがこの世界やこの宇宙に優先的に生きる権利など無いのだから、事実を厳粛に受けとめなければならない。

ただし、杞憂という言葉がある。ここで人類絶滅という恐怖をおおるつもりはない。いまは西暦1995年、文化が栄えてたったの2000年ほどしか経っていない。小惑星が地球に激突するなど、現時点ではまったく考えなくていい。それこそが、まさに杞憂そのものだといえる。

死の確率は交通事故の方がはるかに高いのである。 【図12】

図12 過去、将来のニアミス

過去2600年間のニアミス

小惑星名	最接近年月日(世界時)	最接近距離
1993KA2	1993年 5月20日20時	15万キロ
1991BA	1991年 1月18日17時	17万キロ
4660(ネレウス)	紀元前342年11月10日9時	18万キロ
1983VA	505年 1月19日 5時	21万キロ
1989UQ	719年 8月 4日 9時	34万キロ
1989UQ	606年 8月 3日15時	37万キロ
1991DG	499年 3月11日12時	45万キロ
1989UQ	1228年11月29日15時	50万キロ
1991BN	695年 6月20日 6時	52万キロ
1991TU	1690年10月 4日18時	52万キロ
1988TA	53年 4月 9日 8時	54万キロ
1989UP	31年11月 7日12時	56万キロ

未来2600年間のニアミス

小惑星名	最接近年月日(世界時)	最接近距離
4660(ネレウス)	3539年 1月14日14時	15万キロ
1991GA	2843年 7月 6日13時	16万キロ
1981(ミダス)	3111年 9月22日10時	19万キロ
4486(ミスラ)	4574年 5月16日10時	31万キロ
1989AZ	3828年 1月24日11時	38万キロ
1988EG	3683年 3月24日22時	43万キロ
1991VA	2397年11月 2日16時	43万キロ
1993KA	2134年 5月17日 7時	43万キロ
2101(アネトス)	2805年 7月21日 9時	44万キロ
2135(アリストアイウス)	2361年 4月 2日16時	45万キロ
1990UA	4106年 6月22日21時	46万キロ
1989VB	3947年11月10日 7時	54万キロ

20. おわりに

西の空を真っ赤に染めて太陽が沈むと、夜空に一つ二つと星が輝きはじめる。街灯や街のネオンがともり辺りが急に暗くなると、

「今夜は、なんて星がきれいなんだろう…」

一日の雑念やうさを一瞬忘れてしまいそうな星の輝きに、しばし足を止めて夜空を仰ぎ見てしまった。そんな経験は誰しもお持ちではないだろうか？

夜空はいつも変わり無く不変の世界で、宇宙は想像もつかないほど広大で、気の遠くなるような時間の流れの中で、人間の営みは何とちっほけで小さいことだろうか。一瞬、人生観が変わってしまうのではないかと思わせるが、やっぱり現実には厳しい。

だが、宇宙をもっと視野を変えて詳しく見てみると決して不変な世界ではない。つい感傷に終わってしまいがちな星の世界だが、むしろ新しい発見や感動がたくさん潜んでいて、生き物のように躍動している。その向こうには本当の意味でSFでも想像でもない、日々変わる現実の世界が広がっているのだ。

世の中にはいろいろなことがある。天文ファンの多くはいろいろな視点で夜空を見て楽しんでいるが、星に名前を付けたいと思うのも、小惑星にこだわるのも、なにはともあれ科学するという事は楽しいことなのだ。

【参考文献】

- 岩波全書 岩波書店
小惑星 平山清次著
- 現代天文学講座2 恒星社厚生閣
月と小惑星 古在由秀編 1979
- 天体観測シリーズ4 恒星社厚生閣
惑星とその観測 田中斉 著 1972
- 図説天文講座 恒星社厚生閣
遊星 山本一清著
- 続・日本アマチュア天文史 恒星社厚生閣
小惑星 渡辺和郎 他 共著 1994

- 岩波科学ライブラリー8 岩波書店
小惑星がやってくる 向井 正著 1994
- 講談社ブルーバックス 講談社 1993
いつ起こる小惑星大衝突
地球衝突小惑星研究会編
- 巨大彗星が木星に激突するとき 誠文堂新光社
渡辺潤一著 1994
- 彗星の木星衝突を追って 誠文堂新光社
渡辺潤一著 1995
- 僕らの夢の星空 北海道新聞社
小惑星北海道発見物語
渡辺和郎著 1991
- 現代天文学講座別冊 恒星社厚生閣
天文学人名辞典
- 人物叢書 吉川弘文館
荒井郁之助 足立 朗著 1995
- ポピュラーサイエンス 裳華書房
地球を狙う危険な天体
小島卓雄著 1994
- 科学 岩波書店
地球に接近する天体
中村士・吉川真 1993
- 天文月報 日本天文学会
小惑星のニアミス現象 吉川真 1993
- 数理科学 サイエンス社
太陽系内微小天体による衝突
吉川真 1993
- 天 界
小惑星ノート 大石英夫 東亜天文学会
- ニュートン 教育社
- あすてろいど 1-13 あすてろいど編集室
- 東京天文台ビュレティン 東京天文台
- 京都花山天文台ビュレティン 花山天文台
- 小惑星会議集録 1974, 1986-1995
第1回レジメから11回までレジメ
小惑星会議

3. 札幌の気象特性

札幌総合情報センター(株) 調査役 柏原辰吉

1. はじめに

一口に札幌の気候特性というが、これを説明するのは容易ではない、というのは、ある地点の気象特性はそこが陸か海か、高緯度か低緯度かといった地理的条件のほか、大気循環特性上どのようなところに位置しているか、さらには周辺の地形が複雑に関係する問題だからである。

札幌では一冬に約5メートルの降雪があり、そうかと思うと夏には本州より暑い日も現われる。こうした個々の現象を平均化した値を気候値とか平年値というが、これを用い一定の定義に従って札幌の気候を分類することは比較的簡単である。しかし、ここで求められているのはこうしたマクロの特性ではなく、もっと日常的に身近に感ずる特性のようである。難しい問題だができるだけこれにアプローチしてみよう。

2. 2～3の基礎知識

(1) 大気は薄い膜である

図1は標準的な大気の垂直方向の気温分布をみたものである。

図の一番下の層を対流圏といい、その上の成層圏との境を対流圏界面とっている。その高さは赤道方向で高く、極地方に行くに従って低くなり、中緯度では10～10数kmのことが多い。対流圏には空気の80%以上が集まっており、雨とか雪といった天気現象はこの層で起っている。

さて、地球の半径は約6,300kmだから、上記

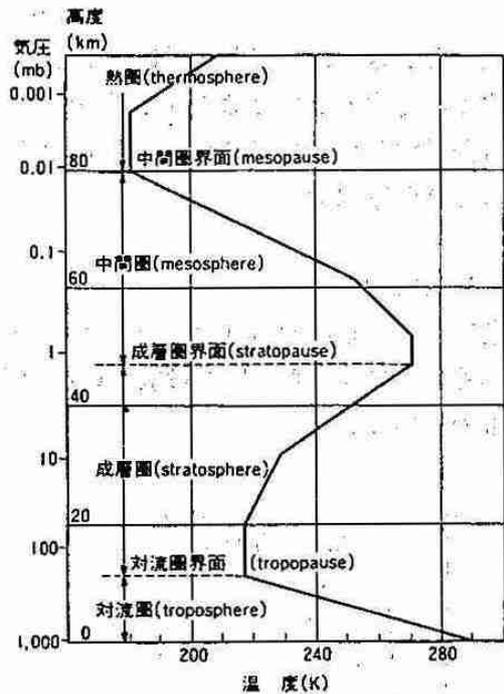


図1 標準大気の温度の垂直分布

の対流圏の厚さは地球半径の約1/600ということになる。コンパスで半径6.3cmの円を描くと、成層圏の厚さは鉛筆の幅にも満たぬ薄いもの、リングにたとえれば皮のうえのワックスの膜ぐらいなものである。

これは気象を理解するうえで非常に大切なことで、空気の移動はほとんどが水平方向の動きによって行われること、そしてこの薄い膜のような空気層は下の海面や陸地の熱的影響を受け易いことを知っておく必要がある。

(2) 地表付近の風

中緯度の大気中層以上では、ほぼ定常的に西

から東に向う風が吹いている。これを偏西風というが、下層にゆくにつれて弱まり、1,000m以下（これを接地層という）では風の性質が変り、地物の影響を非常に受け易くなる。

その一つは、地表面の不整一のために生ずる風速変化で、森や都市の建物によりその上を吹く風は摩擦の影響を受けて一般に風速は弱まる。最近ビル風という特殊な風が知られるようになったが、その原因はつぎの水平収束に関係がある。

二つめは今いった水平収束で、風が山峡部に流入するときは、空気が水平に収束し風速は増大する。先程のビル風はこれと関係が深く（乱流も関係する）、3でのべる札幌市東部の強風域もこれが原因である。

(3) 放射冷却

最近、テレビなどの気象解説でよくこの言葉を聞くようになった。図2は放射の原理を示したものである。

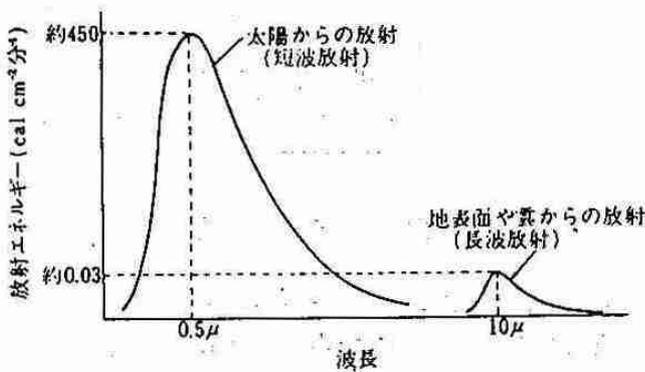


図2 短波放射と長波放射のエネルギーと波長の関係の模式図

図の左側の曲線は太陽から放射されるエネルギーのスペクトルで、波長0.5μのところにある最大値がある、一方、太陽からの熱で暖められた地表面からの放射は、右側のように10μのところにある最大値がある。太陽放射に比べ地表の放射は波長が著しく長いので、太陽放射を短波放射、地面放射を長波放射ということがある。

地表から放射される熱エネルギーはいろいろ

な物質によって吸収されるが、水蒸気による吸収が最も大きい。長波が水蒸気を含んだ大気層を通過するとき、3~7μの赤外線は完全に吸収され、また14μの波長も同様である。ところが8.5~11μの間の赤外線に対しては、水蒸気はほとんど透明である。これは非常に重要なことで、図2の右側の地面から出る長波の最大強度が10μ付近にあるからである。

晴れた夜、地面から放射される長波のうち8.5~11μまでの部分は水蒸気があっても邪魔されずに宇宙にのがれ去る、これが放射冷却で、この8.5μ~11μのスペクトルのすき間を「大気の窓」と呼んでいる。

3. 札幌と他地域との比較

(1) 世界との比較

各地の気候特性の比較には気候表や気候図を用いることが多いが、ここでは少し趣きをかえ札幌と同緯度の北半球の7月と1月の気温プロフィールで比較してみる。

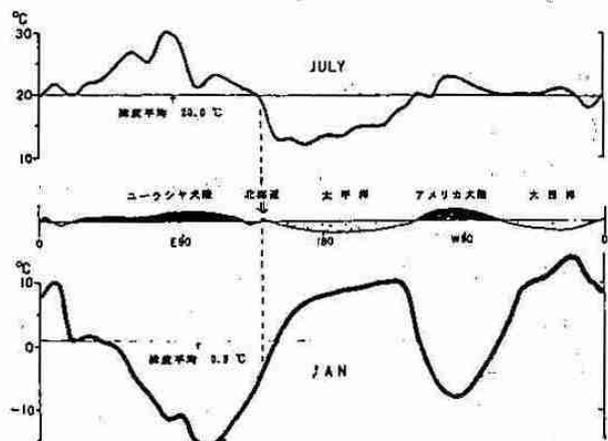


図3 札幌と同緯度の気温の東西プロフィール

図3は、理科年表に載っている1月と7月の平均気温分布図から、札幌と同緯度の北緯43度に沿う気温を緯度10度ごとに読みとり、これをプロファイルの形で示したものである。

詳しい説明は席上行うが、この図の特徴は夏は大陸上の気温が高く海上は低い、冬は逆に大陸上で低く海上は高いことである。これは大陸と海洋の比較の差によるもので、昼の長い7月の大陸はすぐ暖められると同時に夜間の放射冷却時間が少ないので、その差引きが昇温につながり、冬はこの逆になる。

基礎知識でものべたように、大気層は薄い膜のようなものだから、その下の陸や海の熱的条件に非常に敏感であることが分る、なお、札幌は夏・冬とも緯度平均気温に近いところにあり、しかも大陸の特徴と海洋の特徴の境目にあるのが注目される。



図5 道内の最深積雪の分布
(図4と順番あと先になっている)

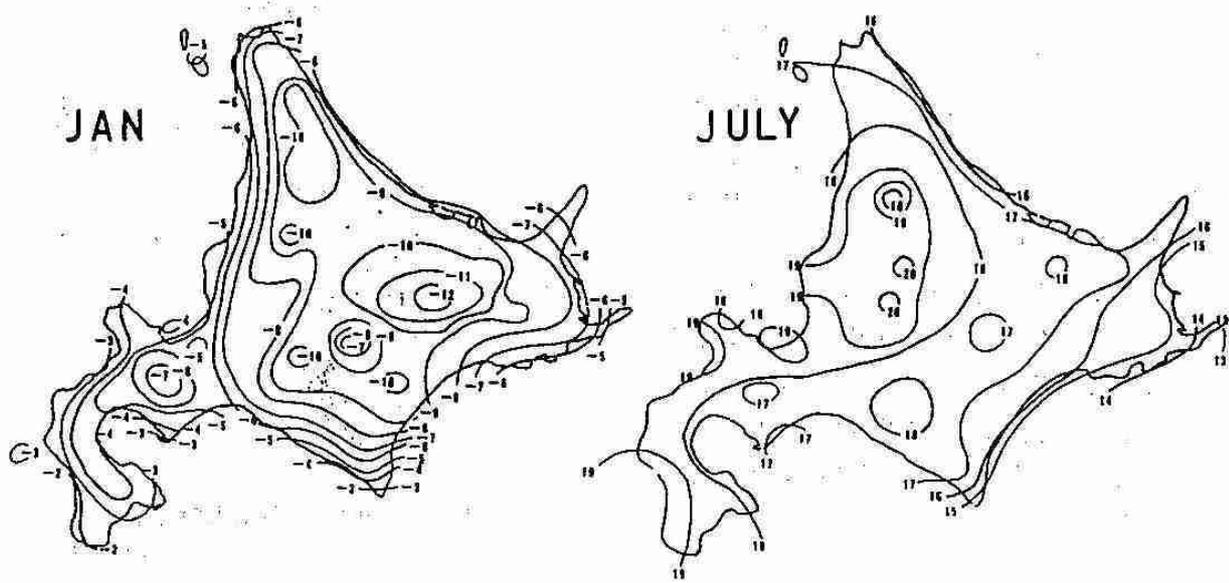
(2) 道内各地との比較

南北に細長い日本列島の北と南の気候はあまりにも差が大きい。従って、ここでは道内各地の気温と降水の比較にとどめる。

図4は1月と7月の道内の月平均気温と月合計降水量の分布(いずれも平年値)である。詳しい説明は席上行うが、全道的視野からみた札幌の気温は、冬は比較的寒さの弱い地域、夏は上川盆地を中心とした内陸に次ぐ暖かい地域に属するとみてよい。

降水分布は冬と夏は非常に対称的で、冬は日本海側で、夏は太平洋側で多い。しかし詳細にみると、おなじ日本海側でありながら冬の降水量は札幌付近で少しくびれており、この特徴は図5の最深積雪の分布にも現れている。なお、夏期の札幌の降水は太平洋側の多雨地の1/2~1/3程度である。

平均気温



降水量

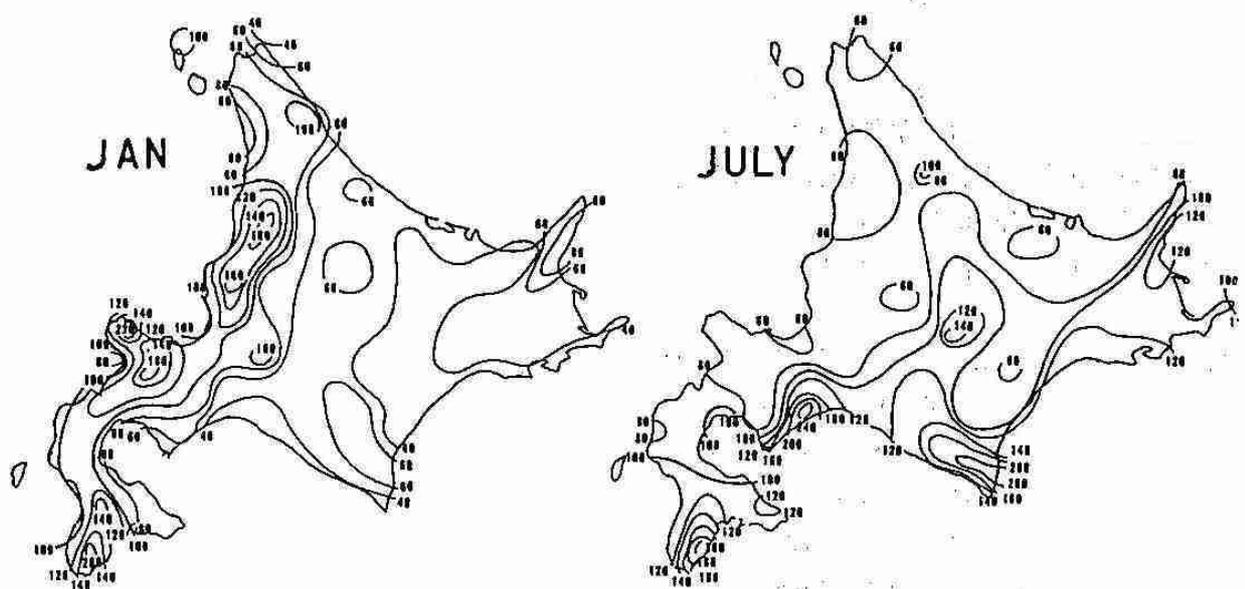


図4 1月と7月の道内の気温分布(平年値)

4. 札幌の気象特性

(1) 札幌周辺の地形

札幌市は石狩平野の西部に位置し、豊平川の扇状地に発達した街である。図6はこれを見たもので、街の西側は後志山塊でかざられ、東側は勇払原野から石狩平野に連なる低地帯、そして北側は石狩湾に接している。これらの地形は、後でのべるように、札幌の気象にいろいろな形で影響を与えている。



図6 札幌周辺の地形

(2) 都市化の影響 (気温特性)

気候表や各種の統計書の載っている札幌の年平均気温は8.2℃である。これは中央区にある札幌管区气象台で観測した値であるが、この値はどのくらい代表性があるのだろうか。図7はその一例として、昨年(1964年)の札幌市およびその周辺の年平均気温分布を見たものである。

(札幌市マルチセンサー観測値による)

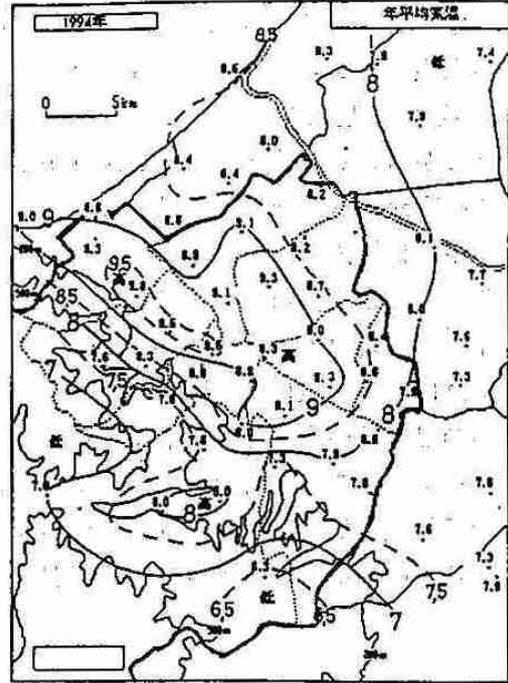


図7 1964年の年平均気温分布

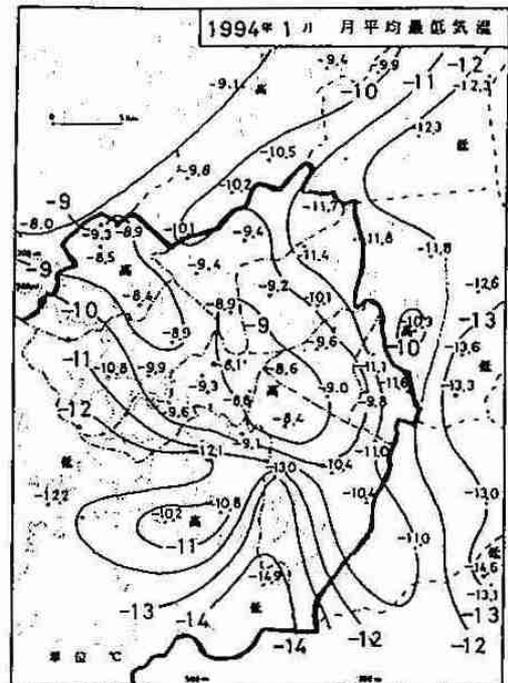


図8 1964年1月の最低気温分布

これによると、気温は決して一様ではなく、市の中心部から少し西に片寄ったところに9.5℃の高温域があり、周辺部は8℃以下で南部には6.5℃の低温域もみえており、おなじ市内でありながら3℃の差があることが分かる。

この図からもう一つ気が付くのは、市の中央部を中心に楕円形の高温域がみえていることである。これは大都市で問題になっているヒートアイランド現象である。札幌市が平野の真ん中にあれば、高温域はほぼ円形になるはずだが、後述の風特性の影響で楕円形になっている。

ヒートアイランド現象による都市気温の上昇は最低気温に最もよく現われ、かつ冬期に顕著である。図8は1994年1月の最低気温分布図だ

が、中央部と南部では5℃以上、周辺の郊外とも4℃以上の差があることが分る。

図9は札幌で気象観測が始まった明治10年以降の冬季3ヶ月平均(12、1、2月)の最高気温、平均気温、最低気温の経過をみたものである。

1947年頃に気候変動が起り各種気温ともこの頃一段と昇温しているが、注目されるのは明治時代から現在までの最高気温と最低気温の上昇度合いの差である。これについても席上詳しく話すが、これらは先程のべたヒートアイランド現象で説明され、都市化の影響は考える以上に大きいことが分る。

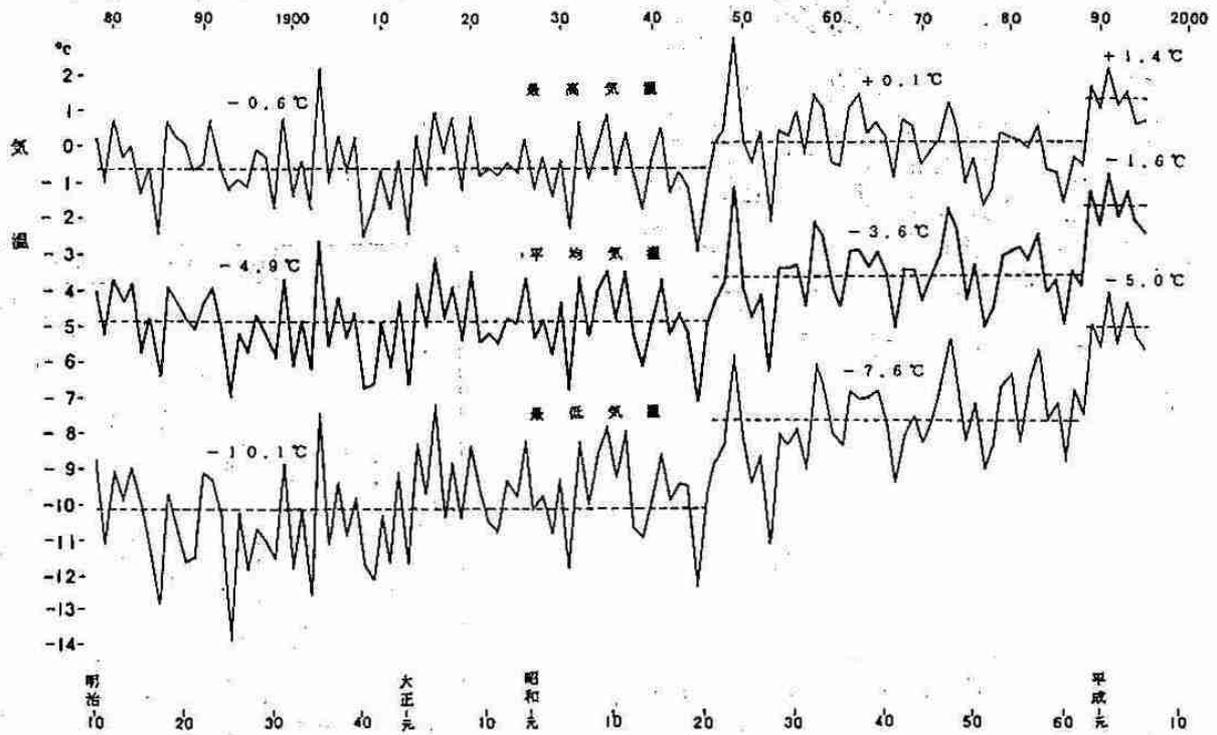
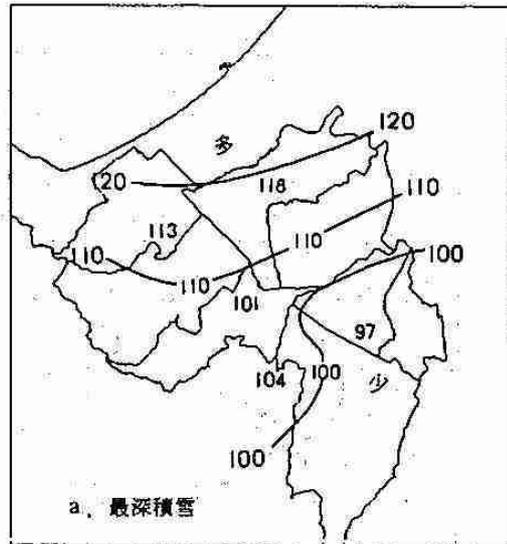


図9 札幌における観測開始以来の冬季平均気温の経過

(3) 風の特性

図6に示した札幌周辺の地形で最も特徴的なのは、市の東側に広がる勇払原野から石狩平野を通過して石狩湾にぬける地溝帯と、市の西から南に存在する山岳地帯である。

基礎知識の(2)でのべたように、両側を山地で挟まれた地溝帯では、地溝に沿った風が吹きやすく、同時に風速も強まる。図10は札幌とその周辺の1月と7月の風向・風速分布の一例だが、上記の原則が非常によく現われ、夏は市の東部で南東風が卓越し、しかも風速も強い。冬は季節風に伴う北西風が卓越するが、市の南部では南から南西の風もみられ、かつ風速も弱い。



(4) 雪の特性

札幌市の降雪特性については、昨年の本講座でものべた。本年はこうした特性がどうして生ずるのかを中心に話してみたい。

図11は札幌市土木事業所の積雪・降雪観測値から得られた13冬季(1980~1992年)の準平年値の分布図である。この図を一見して分かるように、市内の雪は積雪(自然に積った雪の深さ)、降雪(新しく降った雪の深さの合計)とも北西部で多く、南東部で少ない。どうしてこんな差が出るのだろうか?

表1はおなじく各区土木事業所の観測から得られた降雪階級別の出現日数である。下欄の1cm以上の日数をみると、各区とも60日前後で大差はない。しかし、10cm以上、20cm以上となるにつれ区ごとの差が大きくなり、20cm以上の日数は東区の8.5日に対し中央区や白石・厚別では5日程度で、比率にすると60%以下となる。

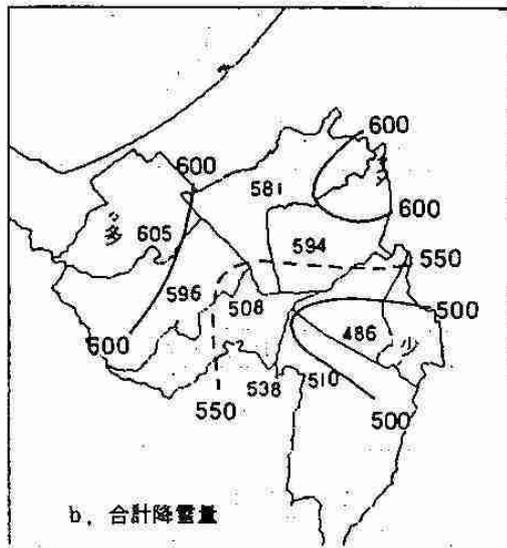


図11 札幌市内の平年の最深積雪とひと冬合計降雪量(単位:cm)
(図10と順番あと先になっている)

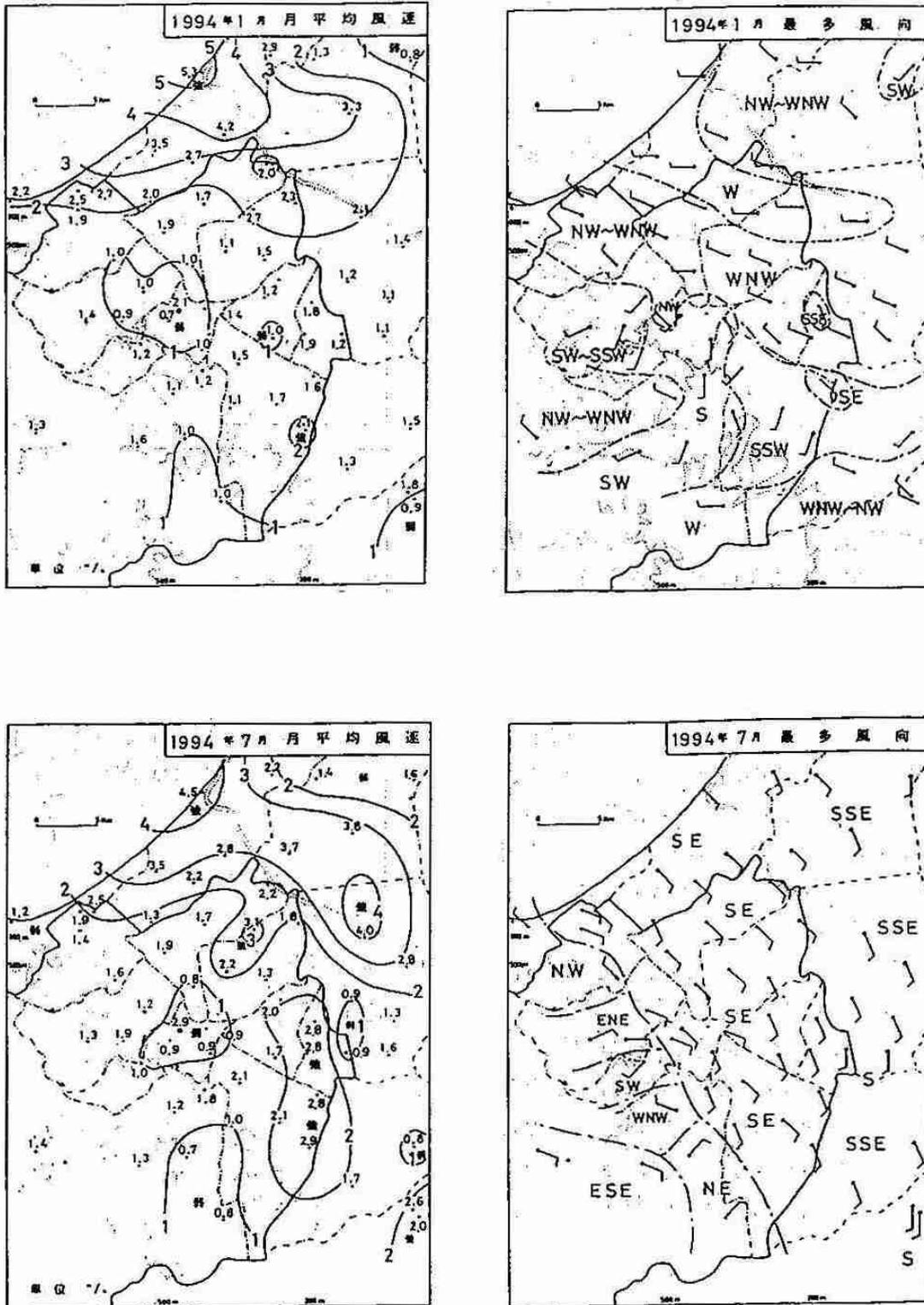


図10 1994年1月と7月の風向・風速分布

表1 日降雪量の出現日数

(単位:日)

降雪階級	区							
	中央区	北区	東区	白石区 厚別区	豊平区	南区	西区	手稲区
観測所	気象台	北土木	東土木	白石土木	豊平土木	南土木	中央土木	西土木
1～5cm未満	30.1	22.3	24.8	28.0	27.4	26.3	25.7	26.8
5～20cm未満	13.9	13.9	14.5	13.1	14.2	15.1	15.4	14.4
10～20cm未満	12.2	13.5	12.1	12.7	11.4	11.6	12.7	14.3
20～30cm未満	3.0	4.8	5.1	3.0	4.2	4.0	4.7	5.1
30cm以上	2.1	3.0	3.4	2.3	2.3	2.5	3.1	2.9
1cm以上の計	61.3	57.5	59.9	59.1	59.5	59.5	61.6	63.5
10cm以上の計	17.3	21.3	20.6	18.0	17.9	18.1	20.5	22.3
20cm以上の計	5.1	7.8	8.5	5.3	6.5	6.5	7.8	8.0

(注)1980～1992年の13年間で平均値(準平年値)ただし
12月～3月の合計で11月と4月は入っていない。

表の結果からみる限り、市内の降雪は小雪を含めた回数は各区ともあまり変りはないが、10cm以上、20cm以上のまとまった大雪回数が北区、東区、手稲区といった北部で多く、これが図11のような分布を生ずる原因のようである。

冬季の降雪は北西季節風によるものが7割以上を占める。図10の1月の風向をもう一度みると、市の北部は北西季節風にさらされており、これが北部で雪が多くなる一つの原因である。しかし、札幌の降雪機構はこれだけでは説明できない。これらについても席上説明したい。

5. まとめ

以上、札幌市の気象をいろいろな角度から眺めてきたが、これをまとめると次のようになる。

- (1) 札幌と同緯度の世界の気温との比較では、札幌は夏・冬とも緯度平均に近い値を示す。
- (2) 都市化の影響、とくに戦後の膨張に対応して中心部の最低気温が上昇しており、冬季の

最低気温は月平均で周辺部に比べ4～5℃高い。

- (3) 市の東部を走る地溝帯の影響で、南系の風のはときは東部の風速は強くなる、また冬季は市の北半分で北西季節風が卓越するが、南部や西部の風はかなり複雑な分布を示す。
- (4) 降雪・積雪とも市の北部と西部で多い。これはこれらの地域が北西季節風にさらされ易いのが原因だが、市の西側にある山岳の影響も考えられる。

参考書

一般気象学

314頁

小倉義光著 1992年
東京大学出版部

雪を知る

206頁

柏原辰吉著 1993年
北海道新聞社出版部

4. 気象業務法改正と気象予報士

(財)日本気象協会気象情報部長 若林 徳 司

1. はじめに

最近、天気予報が変わったことにお気づきでしょうか。気象業務法の一部改正で、5月18日から気象予報士が独自の天気予報を発表できるようになりました。「局地予報」「ポイント予報」「時系列予報」とそれぞれの名称(呼称)は違いますが、気象庁が公開している20km毎の詳細なデータを基に、市町村単位のきめ細かな天気予報がテレビ、新聞などのメディアを通してお茶の間に届けられています。

この情報を基に日常生活、余暇の活動に、また、お仕事に(産業活動)にどう利活用するかは情報の受け手である皆さんに委ねられています。

2. 気象業務法の改正

気象業務法の一部改正は、この法律が昭和27年6月2日に制定されて以来の本格的な改正です。この法律改正の要点は「気象業務支援センターの設立」と「気象予報士制度の新設」です。

法律の改正の背景は、一つに気象業務は、日進月歩の進展をしており、その内容も社会の要請、科学および技術の発展とともに高度化してきていること。もう一つは、我が国全体が高度情報化社会を迎えつつあることがあげられます。

このような状況下において我が国全体としての気象サービス(情報産業としての側面を含む)のあり方を検討することが必要になってきたためです。

そこで、気象庁は平成3年3月(1991.3)に気象審議会に対して、諮問第18号として「社会の高度情報化に適合する気象サービスのあり方」について諮問をしています。そして平成4年3月(1992.3)に18号答申が出され、翌年の平成5年5月(1993.5)第126回通常国会において、この法律が可決され、平成7年5月18日(1995.5.18)から民間気象事業者の提供する局地予報が、テレビ、新聞などを通じて不特定多数の方々に提供が可能となりました。

国民生活の質的向上、産業構造の変化に伴う気象情報のニーズは今後ますます多様化し、かつ高度化していくことを前提とした今回の法改正は官民の役割分担を明確にすることによる気象情報サービスの推進を図る一つの方法でもあると云えます。

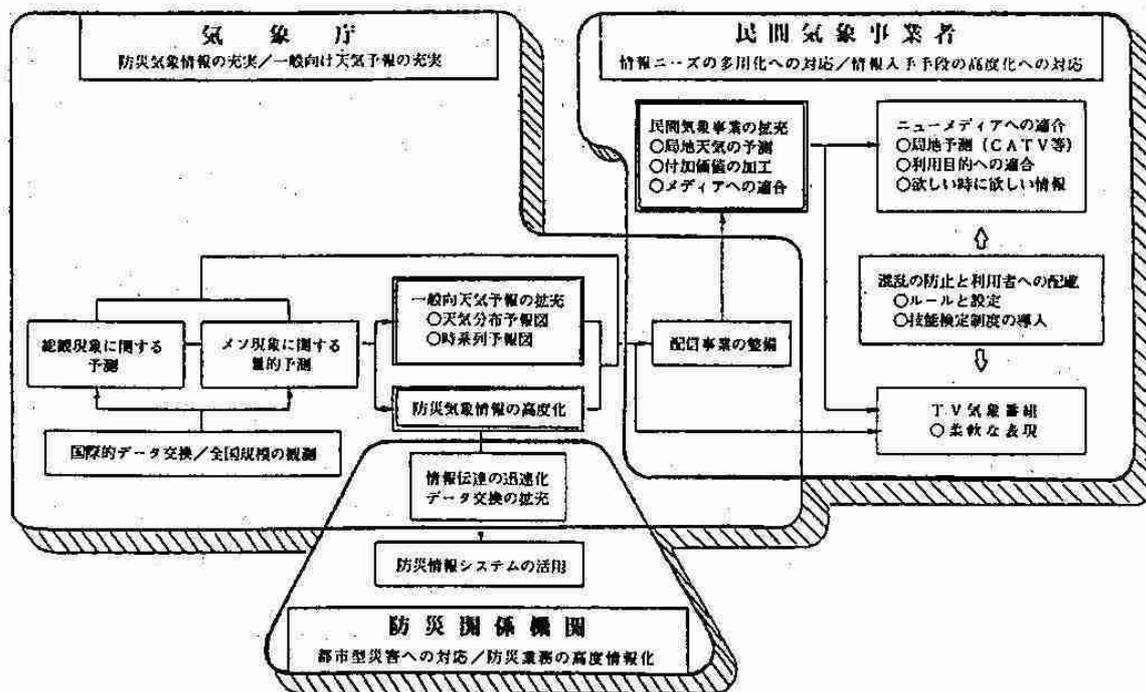


図1 官民の役割分担

詰問		答申		答 申 名
番号	年月日	番号	年月日	
1	31.11.19	1	32. 5.30	気象業務の改善方針に関する答申
2	33. 1.21	2	33. 9.11	農林水産業に係る気象業務の整備方針に関する答申
3	35. 1.18	3	35. 4.13	防災気象情報の伝達組織の強化と利用体制の向上に関する答申
4	36. 2. 6	4	36. 7. 7	沿岸防災気象業務の整備方針に関する答申
5	37. 7.17	5	39. 5. 8	航空機による気象観測について
6	39.10.26	6	41. 5.27	今後の社会的要請に対応する気象業務のあり方およびその推進方針について
6-2	39.10.26	6-2	42. 7.13	今後の社会的要請に対応する気象業務のあり方およびその推進方針について
7	41. 5.17	7	41. 9.22	航空機の航行安全確保のための航空気象業務の整備強化の方策について
8	45. 6. 4	8	45. 7.18	世界気象監視(WWW/World Weather Watch)計画の一環としてわが国気象業務の整備強化について
9	46. 3.23	9	46. 7.20	気象業務整備5か年(昭和47~51年度)計画の大綱について
建議	45.11. 9		50. 3.26	気象衛星の長期構想について
10	52. 3.19	10	52. 8.16	短時間予報体制強化の方針について
11	52. 3.19	11	52. 8.16	気象災害にかかわる気候調査研究体制整備の方針について
12	52. 3.19	13	52.11.24	第4次地震予知計画に関する気象庁地震業務の将来計画について
13	52. 3.19	12	52. 8.16	海洋観測システム整備とその成果の利用促進の方針について
14	54. 3. 2	14	55. 7.30	今後の航空気象業務整備に関する方針について
15	57. 2.22	15	58. 3.18	気象変化に関する長期的な対応について
16	61. 2.24	16	61. 5.22	今後の台風進路予報のあり方について
17	61.11.19	17	63. 5.30	気象庁における地球科学に関する新たな研究及び技術開発の課題とその推進方策
18	H3. 3. 7	18	H4. 3.23	社会の高度情報化に適合する気象サービスのあり方について
19	H6. 3.25	19	H6.10. 6	今後の地震・津波情報の高度化のあり方について

表-1 気象審議会詰問答申一覧

3. 財団法人気象業務支援センター

今後の法律の改正の一つとして、気象庁では気象業務の健全な発達を図ることを目的として標記の新しい公益法人を設立させました。

その業務内容は多岐にわたっていますが、主なものとしては次の3つあげられます。

- (1) 気象予報士試験の指定機関としての業務。
- (2) 気象庁が保有する情報の提供業務。
- (3) 天気情報の利用に関する相談その他の援助、研修などの業務。

なかでも、(2)は気象庁に集中している膨大な観測データ、および解析データを現在実施している方法、すなわち、気象庁が直接サービスしている一部の機関を除いて、今後は、気象庁の保有する、数値予報データと結果、気象衛星、レーダー、アメダスなどの全ての情報提供を行うのですから、その責任は大変重いものになります。

4. 気象予報士

気象情報は、いざという時には防災情報と裏表の関係になるものと考えられます。不適切な情報が流されると大きなパニックがおこる可能性があるからです。

このため普段から情報の質の確保が重要となる訳です。従って気象庁から提供される数値予報などの高度な予測データを適切に処理し、利用者である一般または企業の方々から様々な要求に対して応じられる質の高い気象情報を責任をもって作成する知識および技術を有することが気象予報士に求められます。

今後の法律の改正では、気象業務法第17条で予報業務の許可（予報業務許可事業者）を受けたものは各種業務の内、現象の予想を気象予報士に行わせることと第19条の3項に明確にうたわれています。

ここで、気象予報士に係わる法律を整理すると次の様になります。

気象予測値経時変化図 位置 北緯43°17'30"東経141°22'30"
6月7日 9時— 6月8日 9時

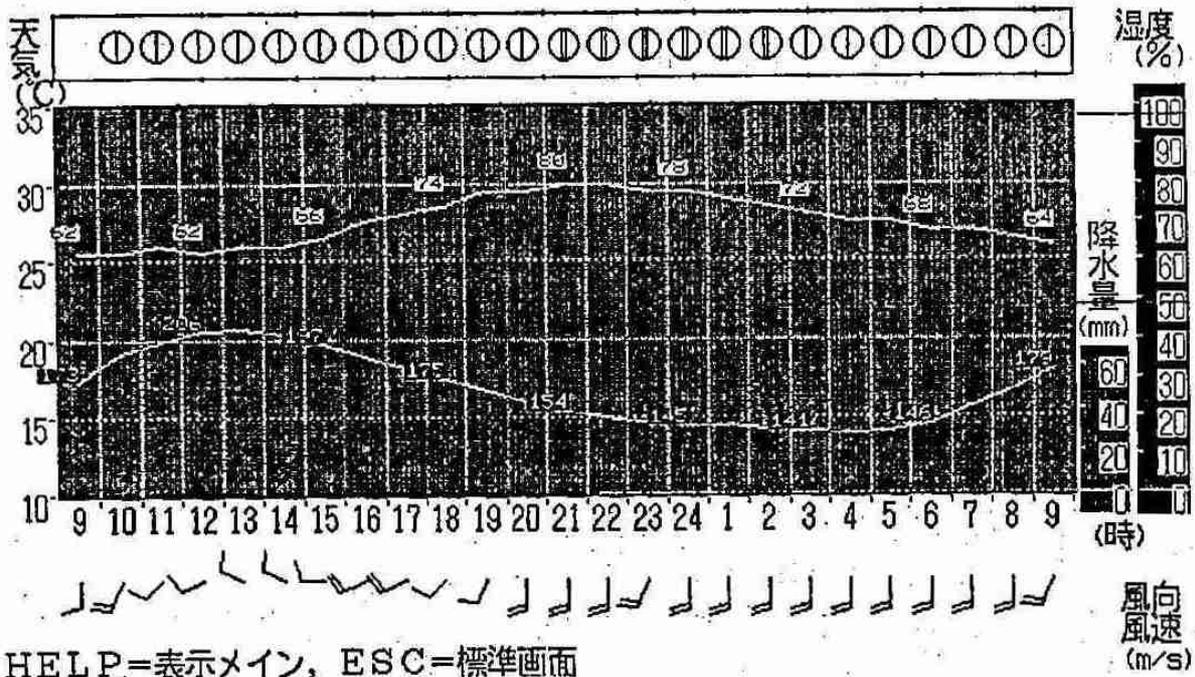


図2 オンラインによる局地予報例

- ①気象業務の実施に関する許可を受けた者は予報業務の利用者に発表する現象の予想（気象および波浪）の業務については気象予報士に行わせなければならないものとする。
- ②予報業務の実施に関する許可を受けた者は、その予報業務を行う事務所ごとに、必要な人数の気象予報士を置かなければならない。
- ③気象庁長官は、予報業務を行うために必要な現象の予想に関する知識および技能について、予報士試験を行うものとする。

気象予報士としての知識および技能を認定するために昨年の8月28日に第1回の試験が実施されて以来、既に1,088名の方が資格を得ていますが、一段と狭き門になってきています。

5. おわりに

民間気象会社による一般への気象情報提供と

いう意味では先進国である米国では官民の役割分担は日本以上に明確であると聞く。

また、米国国家気象局は最新の観測、予報技術を導入し、重大な災害をもたらす現象の予報精度向上に努め、メディアによる国民への周知およびサービスは民間気象会社にまかせているという。しかも、気象局が現在、実施している分野においても民間が実施可能な分野については撤退を進めているとの報告書を目にしたことがある。

しかし、ここまで来るには50年という歳月を経た結果であり、官民の役割分担が今日のように明確になるまでには紆余曲折があったとも聞く。

日本での「予報自由化」は今、産声をあげたばかり、ほしい時にほしい情報を提供することは持論ではあるが、提供する内容にしっかりとした責任をもつ必要があるのではないかと思う。

() 内は女性

	試験日	受験者数	合格者数	合格率(%)
第1回	H6. 8. 28	2,777 (180)	500 (11)	18.0
第2回	H6. 12. 18	2,705 (165)	313 (10)	11.6
第3回	H7. 3. 19	2,771 (192)	275 (10)	9.9
計		8,253 (537)	1,088 (31)	13.2

表-2 過去3回の合格率

— 気象講演会雑感 —

平成5年度北海道支部気象講演会

札幌管区气象台 富 沢 節 夫

平成6年度第一回支部理事会において、気象講演会について話し合いが行われ、支部事業の一つとして、気象知識の普及と啓蒙のために必要であることなどの理由から、開催することについて承認され、平成6年度支部総会において開催が決定した。

これを受けて、講演担当理事と支部事務局で実施計画を作成し、これに基づき行動を開始することにした。

まず、開催地については、これまで話題になっていた帯広市に目ぼしをつけて帯広測候所の協力が是非必要なため、折衝したところ快く引き受けてくれることになり、開催地は帯広市とした。

また、開催日時は、平成6年10月14日（金）午後（13時～15時）に『十勝の気象と生活（くらし）』をメインテーマとして、3題の講演（講師は地元から2名、札幌から1名）とし、目標入場人数は200～250名くらいとすること及び帯広測候所並びに日本気象協会帯広支部職員の皆様方にご協力を頂くことなどが決められた。

会場は、日本気象協会北海道本部並びに帯広支部のご尽力により、十勝毎日新聞社の勝毎ホールを確保することが出来た。

講演会の当日、担当理事、講師、それに事務局担当者は、朝9時にJRにて札幌を出発し昼前帯広に到着、昼食後直ちに会場に向かう。

講演会場は、現地協力機関の帯広測候所及び日本気象協会帯広支部職員の皆様方により準備が遅滞なく進められ、ほぼ完了しており、あとは開場を待つばかりとなっていた。

当日の天候は良好で、この分だと多数の入場者があると期待していたが、開演間近かになっても出足が鈍く心細くなってきた。

開演時刻の午後1時少し前になってから入場する人が増えてきたため、開演を10分間遅らせた。

結局、入場した人は70名となり目標人数を大きく割ってしまった。

これは、PRの方法に工夫が足りなかったことと、平日の開催であったことなどが影響したのかもしれない。

講演会は、事務局担当者の司会進行で始まり、地元に着した講演内容であったことから真剣に聴き入り、また、熱心な質問もあり気象に対する関心の大きさを示していた。

機会があれば再び帯広市において気象講演会を開催するべきだと感じた次第である。

最後に、今回の気象講演会を無事に催すことが出来たのも、各関係機関との折衝や一般市民に対するPR及び会場の準備、講演会場の運営において業務繁忙の折、数々のお手伝いを頂いた帯広測候所と日本気象協会帯広支部の職員の皆様の献身的なご協力によることが大きく、ここに厚くお礼申し上げます。

十勝春風考 — 十勝の風と災害 —

三輪 健治 (元釧路地方気象台長)

まえがき

十勝の四月、五月は内陸を中心に風が強い。この時期の十勝は春の乾燥期にあたり、春耕まもない農地から砂塵が舞い上り、苗やビニールハウスが吹き飛ぶ農業災害が起きたり、乾燥と強風によって野火や山火事などが発生することがある。

内陸の春風が強いのは十勝だけでなく全道的に言えることだが、ここでは十勝の春風の実態、強風の出現機構について考察したので報告する。

実態

①内陸の春風は強い

一般的に風は気圧傾度に比例して吹くから、気圧傾度の混む冬は他の季節に比べ強いはずである。だが、月平均風速の統計(図1)をみると内陸は春の方が強い。海岸地方は一部を除いて冬の方が強く、春風は目だたない。

しかし、内陸の春風が強いといっても風速そのものは1.0m/s前後で特に強いものではない。

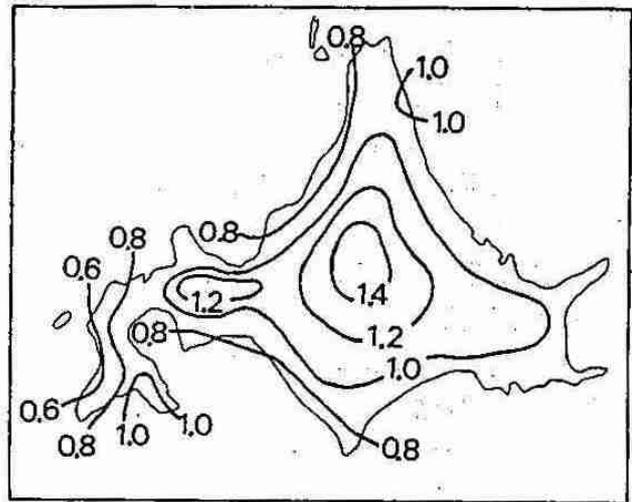


図1 月平均風速の5月/1月比(1961~1990)

②気圧配置

春風の時の地上気圧配置は南高北低型。図2は5月の地上気圧配置の平均図である。風系は西よりで十勝の場合、山越え気流である。天気は快晴または晴れときどき曇り。温度場は寒気場だが晴天のため温暖である。

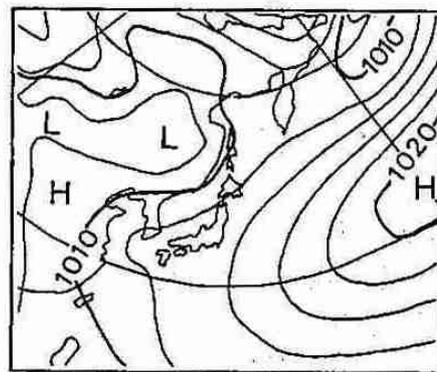


図2 5月の平均気圧配置
(1961~1990)

③日変化が明瞭

風の日変化が非常に明瞭で、日中強いが夜になると急に弱まり、ほとんど無風の状態になる。

④春風の経年変化

この風は毎年いつも強いわけではなく、年によってはほとんど吹かないときもある。

10m/s以上の日数を年代毎に調べたのが右表である。近年は減少傾向だが、その理由はわからない。

5月の強風(10m/s以上)日数 帯広

1960年代(10年合計)	31日
70 " "	13
80 " "	7

1994年5月18日の例

当日の状況

17日から18日朝にかけ北海道には上空に寒気が流入し、かなり不安定な状態になっていた。十勝では朝のうち風は弱かったが8時すぎから強くなり13時ころまで続く。風向は西南西、天気は快晴であったが十勝野は砂塵濛々、空は黒く視界は極端に悪くなり交通にも障害が起きる状態であった。正午前後から雷を伴うにわか雨が降りはじめ12時35分に帯広測候所は雷鳴を観測している。雨が終ると同時に風はピタリと止んだ。つまり、雷雨によって不安定が解消し、強風は終わったのである。

帯広測候所の観測値および札幌管区气象台、根室測候所の高層資料は次のとおり。

帯広 18日

- ・最大風速 西北西 8.0 m/s 12^h20^m
- ・最大瞬間風速 北西 16.2 m/s 12^h09^m
- ・最高気温 16.8℃ 11^h11^m

地上天気図(図3)

500hPaにおける寒気の状態

	札幌	根室
17日21時	-26.3℃ (SSI 12.3)	-21.5℃
18日 9時	-30.1 (" 1.0)	-28.1
18日21時	-28.3 (" 5.3)	-27.7

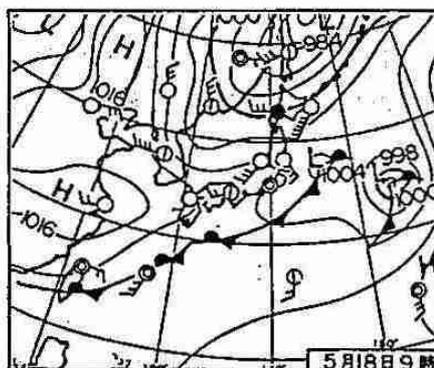


図3 地上天気図(5月18日9時)

SSI: 安定度指数

考察 強風の出現機構

①出現時の地上気圧配置は南高北低型で一般場の流れは西よりの風であること。十勝の場合は山越え気流である。

曲田・小倉⁽²⁾の数値実験によれば“気流が山を越えるとき、風上側の接地層に冷気があると風下側に強風が出現し、冷気がなければ起こらない。また、山頂高度以上に寒気の侵入がある場合には下流に強風域が現れる”という報告がある。

これを春の強風機構に引用してみる。まず風上側の接地層に冷気として日高山脈の雪(4~5月の十勝の山は冠雪している)が考えられる。

また、十勝の春風の場合、出現時は寒気場のときが多いこと、実例に示すように気層の

不安定が解消すると同時に風が弱まることから、この数値実験の結果が適用できよう。

②日変化が明瞭であることから晴天時、内陸の接地層は日射により昇温するため、鉛直安定度が悪くなり、上層の強い風が下層に下りてきて、地上では気圧傾度以上の強風になることが考えられる。夜は接地層の冷却によって大気が安定化するため弱まるのであろう。したがって、何かの理由で不安定が解消すると風は弱まることになる。

③春に出現するのは前述の山の雪、熱的成層の不安定を助長するものとして晴天による日射量の増加(図4 月別日平均全天日射量)に加え、十勝内陸の畑作地(牧草を除いて約20万ha、これは内陸面積の約二分の一を占める)は播種間もなく裸地の状態で地表面の加熱を強める。

以上のことから、この十勝の春の強風は山越え気流+風上側の冷氣及び上空の寒気+傾度風が主因と考えられる。

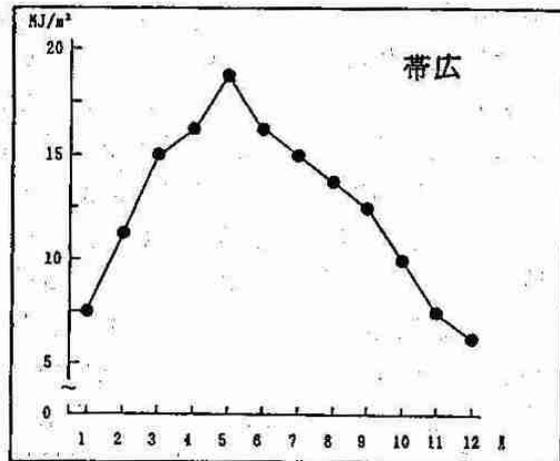


図4 月別日平均全天日射量 (1961~1990)

あとがき

十勝の春の強風の特徴を整理してみる。

- ①十勝では春になると西よりの強風が吹く。日変化が明瞭で日中強く夜には弱まる。強風出現時の地上天気図は南高北低型である。
- ②この風により山火事、野火、農作物の播きなおしなどの災害が発生することがある。
- ③春に現れるのは熱的成層の不安定による。その要因として上空への寒気の侵入、日射量の増加、地面状態などが考えられる。
- ④強風の出現機構は山越え気流+風上側の冷氣及び上空の寒気+傾度風である。

参 考 文 献

- (1)三輪健治(1969): 北海道の春の強風について 研究時報, 21-5
- (2)Magata, M. and Ogura, S(1967): On the Airflow over Mountains under the Influence of Heating and Cooling. J. Met. 45, 83-95
- (3)中岡裕之・菊地弘明(1968): 北海道の春の強風に関する調査. 昭和43年度北部管区気象研究会誌

十勝の寒さと土壤凍結

土谷 富士夫 (帯広畜産大学)

1. 十勝の寒冷気候とその特色

北海道は北緯41°24'以北に位置し、生活面から北方圏に属し寒冷地域と呼ばれている。このような寒冷環境にある地域では、その特質を十分理解し地域社会の要請を積極的に組み入れていく必要がある。なかでも、産業に占める農業の位置は非常に高く、そのため気象の影響力は多大である。特に、冬期間の低温は、産業・生活・交通に制約を与え、他の季節にみられない数々の特色を持っている。

十勝地方は北海道東部の太平洋側に位置し、西は日高山脈、北は大雪山系に接し、4分された北海道気候区分によると太平洋東部に属するが、釧路・根室とは多少異なった気候を示している。帯広の平年値(1971~1990)をみると、年平均気温は6.3℃、年降水量は917mm、日照時間は2022時間である。これを道内他都市と比較すると、表1に示すように年平均気温は決して高くはない。しかし、特徴といえば1月平均気温が明らかに低いことがわかる。また、日照時間が他に比べて多いのも特徴である。

これを世界の年平均気温を見てみると、北欧のストックホルム、中国のウルムチ、カナダのモントリオールなどに近いが、いずれも年降水量は少なく100mm以下である。帯広は低緯度の割には冬が寒く、降水量が多いのが特徴である。以上の事から帯広の気候区に類似している地点は世界的にほとんどないと考えられる。

次に冬の寒さでは、旭川が明治35年1月25日に-41.0℃まで低下し、日本の最低気温の記録となっている。未曾有の寒波の襲来の冬であり、帯広ではその翌日に-38.2℃を記録している。公式記録によると帯広では大正11年1月31日に-34.9℃を示し、旭川、富士山-38.0℃、倶知安-35.7℃に次いで4位の記録値を示している。また、最高気温では本年は例年のない猛暑の夏となったが、帯広では8月7日に37.0℃(第3位)が記録された。最高気温では帯広が道内1位の記録を保持しており、大正13年7月12日の37.8℃である。これらから、帯広は寒暖の差が大きい地域であることもひとつの特徴である。さらに、帯広に1日の降雪の深さで道内1位の記録がある。昭和45年3月16日に起った102cmであり、「ドカ雪」と呼ぶ現象である。最近の平成3年1月18日にも92cmの記録がある。いずれも、

「台湾坊主」と呼ばれる台湾近海に発生する低気圧が本州南岸を急速に異常発達しながら、道東地方に大雪を降らせるものである。

2. 帯広における気温変動

近年、温室効果などによる地球温暖化が問題となっているが、帯広の気温変動はどのようになっているか興味深い。なかでも冬期の

表1 北海道の主要気象官署の平年値

地点	年平均気温	1月気温	8月気温	降水量	日照時間
稚内	6.4	-5.5	19.2	1124	1500
旭川	6.4	-8.5	20.9	1091	1623
留萌	7.4	-5.1	20.6	1239	1545
札幌	8.2	-4.6	21.7	1130	1805
寿都	6.0	-2.7	20.9	1218	1487
網走	6.0	-6.5	19.1	815	1845
根室	5.9	-4.5	17.1	1035	1857
釧路	5.7	-6.1	17.1	1035	1857
帯広	6.3	-8.2	19.9	917	2022
蒲河	7.7	-3.0	19.9	1132	1932
函館	8.5	-3.4	21.6	1155	1771

最低気温が -27°C 以下の値を記録しなくなっている。他都市と同様に、人口の増加にともなって都市気温の上昇が現れているためと思われる。市街地に位置する測候所から、約6 km離れた帯広畜産大学の気象観測値との比較を行う。図1に、過去7年間(1981~86年)の日平均、日最高及び日最低の各気温差の変動を示す。日平均からみると、畜産大学の気温は測候所よりも常に低く、夏期よりも冬期に $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 低いことがわかる。日最高気温にほとんど差は見られず、日最低気温に顕著な差が、しかも厳冬期には -6°C も低い値を示した。温度が低いほど、その差が拡大する傾向が得られた。夜間に建物や舗装の熱放射、自動車や暖房の排熱が冷却を緩和するため、都市気候の特徴を示している。最も古くから観測が行われている新得畜産試験場のデータを

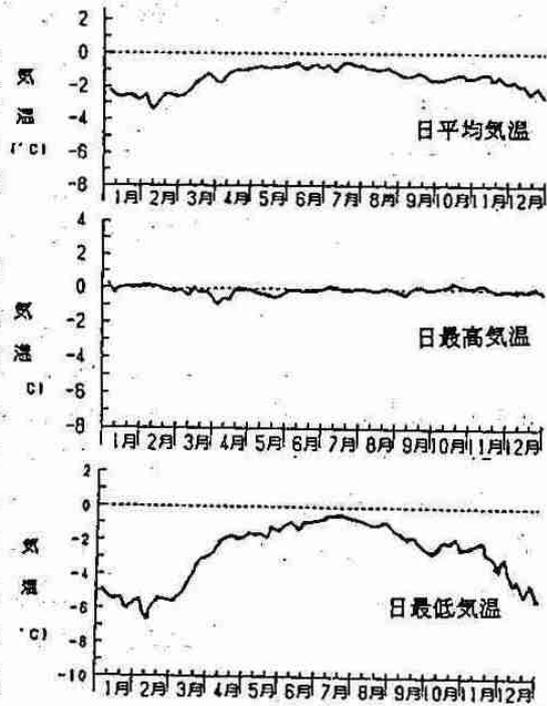


図1 測候所と畜産大学との気温差

もとに、1970~84年の帯広測候所と差を比較すると、温度差に拡大傾向がみられる。15年間で約 1.0°C の温度上昇が得られ、新得町との比較でも同様な値の昇温傾向が得られている。

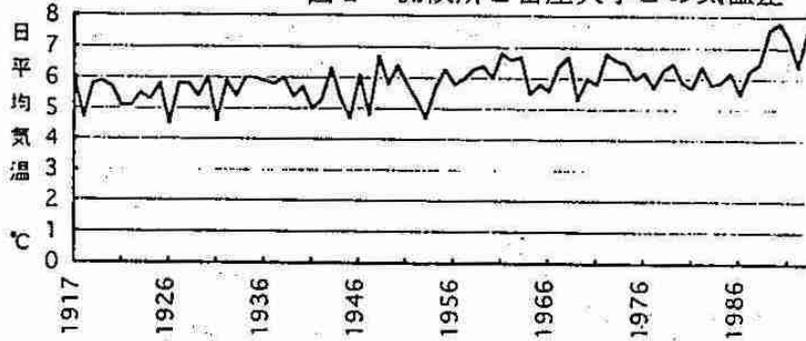


図2 帯広の年平均気温の変動

次に、地球温暖化をみるために、帯広の年平均気温変動を図2に示す。年次的に高低変動を示しているが、年々多少であるが温度上昇の傾向がみられ、1989年以降極度に上昇傾向を示している。これは、暖冬による影響が大きいと思われるが、今後も続くかは不明である。

3. 土壌凍結と凍上作用

土壌凍結とは、地温が 0°C 以下になって地中の水分が凍結し、液体の水が固体の氷に変換される現象である。この相変化により下層の未凍結層より凍結層にゆるやかな水分上昇移動が生じる。このとき、凍結線の近くにアイスレンズと呼ばれる分離氷層が形成され、これが土粒子を排斥しながら土壌間隙を膨張させる。アイスレンズ層が幾重にも増加すると、土粒子を上方に押し上げ地表面は隆起する。これが、「凍上」と呼ばれる現象で、このときの凍上力は数百 kg/cm^2 にも及ぶといわれている。凍上は土壌凍結で最も厄介な物理現象で、道路や構造物を破損するため、その対策に膨大な経費を使用している。土壌凍結の深さは冬の寒さが厳しいほど大きくなり、凍上も大きくなる。しかし、地表面が積雪で覆われると、凍結深さは減少する。積雪は多量の

空気を含むため、自然の断熱材となり凍結の侵入を阻む働きをする。こうした積雪は土壌の凍結深さに大きく影響を与える。図3は、新得畜産試験場で測定を行った積雪と土壌凍結との関係である。積雪の深さの増加にともなって、指数的に凍結が減少する傾向が明白にあかる。

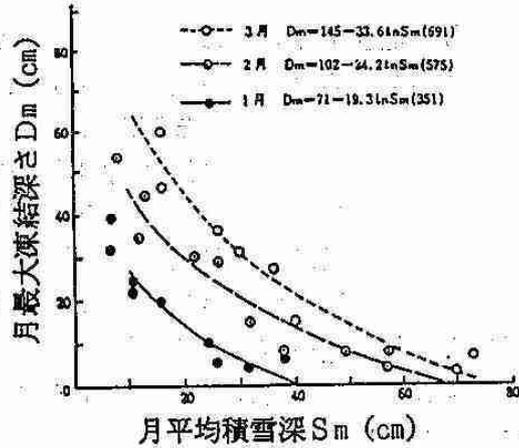


図3 積雪と土壌凍結深さの関係

十勝地方の土壌凍結分布を調査した実例を図4に示す。東大雪山系の糠平から日高山脈沿いの広尾にかけて、比較的凍結が浅いことがわかる。他方、足寄・本別の東部から土幌・音更の中央に向かって、深い凍結を示す傾向が見られる。図5にこのときの積雪の深さの分布を示す。明らかに、凍結深さは積雪の深さに反比例の関係があることが分かる。また、土壌凍結は植物生育と密接な関係がある。多年生の豆科の牧草、フルファルファの栽培が伸び悩んでいる原因に土壌凍結による断根とされてきた。その実態を知るため、被害の程度を4段階に分類し断根被害分布図が図6に得られた。凍上による断根の著しい地域は土壌凍結の深い地域と一致し、陸別から音更、浦幌に至る地域であった。断根位置は十勝平均で12.7cmとなり、最初に土層内に形成される大きなアイスレンズの発生位置に相当すると考えられる。

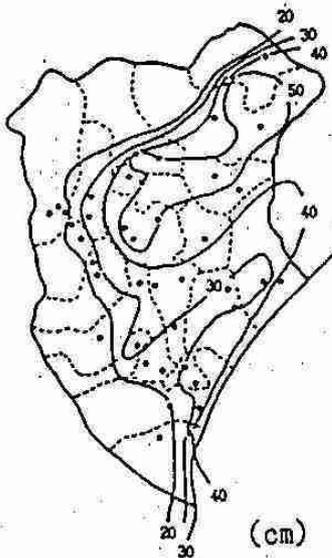


図4 十勝の最大凍結深さ分布

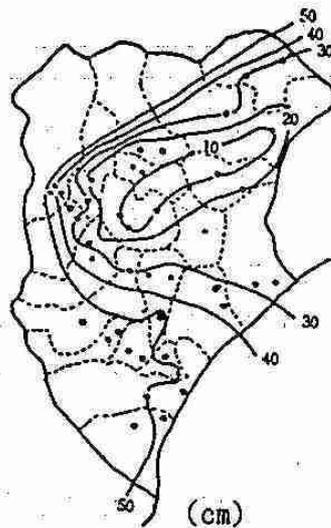


図5 最大凍結時の積雪の深さ

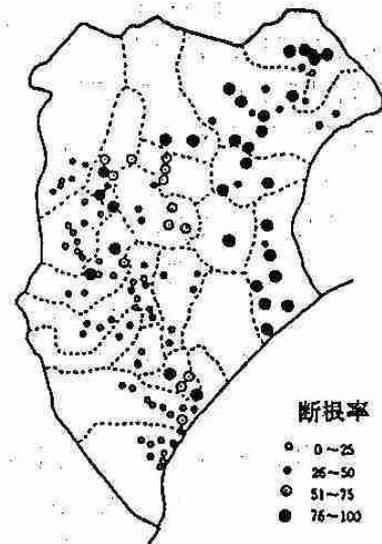


図6 凍上によるアルファルファの断根率分布 (%)

4. 植物の耐冬性と病害

凍結の深い地域でのアルファルファの被害は断根より、地温低下による主根の凍結害による冬枯れの方が問題であることが判明した。一般に、凍結害は植物体内の細胞凍結により、植物組織が破壊され生理的機能が停止する災害である。植物が0℃以下になると、細胞表面の水が最初に凍結し、次に細胞間の水が凍結する。-10℃以下にな

ると、細胞内の水が細胞外の氷に取りられ、脱水作用により萎れる。さらに温度が低下する細胞内の水が凍結し、細胞組織が死滅する。これが凍結害あるいは寒害と呼ばれる現象である。しかし、これが起る温度は植物の種類や寒さへの準備期間などによって大きく異なることが知られている。この準備期間が植物の寒さへの適応性に与える影響は大きく、冬の寒さに耐えられる性質を「耐冬性」と呼んでいる。植物は秋から冬にかけて生育を止め、翌春の成長開始のために貯蔵養分としてデンプンや中性脂肪などの形で細胞内に貯蔵する。さらに温度が低下すると水溶性の糖分やリン脂質へ転換され、細胞を凍結から守ろうとする。このように、十勝では雪が少なく凍結が深い年に、庭木などが多く枯れる被害がみられるが、耐冬性を越えた地温の低下や深い土壌凍結によるものである。

アルファルファの凍結害が発見されたが、他方凍結の浅い地域では病害が発生していることが分かった。積雪の保温効果のため、黒色小粒菌核病菌による雪腐れ病が発生し、減収の被害が発生していた。雪腐れはアルファルファ固体の枯死の恐れはないが、萌芽期を遅らせ株間の伸びに著しいバラツキを生じさせる。秋蒔き小麦やゴルフ場の芝生はこれを防止するため、降雪前に農薬散布を行うが、牧草は家畜の体内に蓄積する恐れがあるため使用できない。対策として有機質の投入による土壌改良や耐病性品種への改良を待たざるを得ない。

5. 寒さ利用技術の現状

寒冷地域では、今まで害的要因として邪魔物扱いされてきた雪、氷、凍土を積極的に利用しようという動向が活発化されつつある。こうした積極的利用例を紹介するとともに、十勝地方での有効性について述べるとする。

雪氷利用については昔からある雪や氷の保存技術が見直され、最近成果を上げている野菜や穀物の雪室・氷室貯蔵、あるいは保存雪による建物冷房の資源エネルギー利用が注目されている。貯氷冷房の実例では、プリンストン大学でのアイスポンド空調システム研究が有名である。スノーマシンで7000m³の雪を作って建物の冷房が行われた。十勝では更別農協で試験されたアイスポンド利用の冷熱貯蔵システムがある。水を粉霧して効率的に氷を製造し春季にポンド屋根部を断熱し冷水を取り出し、冷房空調システムを作動しバレイショの貯蔵に成功している。氷に異物を混入し、氷の強度増加をしてアイスクリートと呼ばれる護岸工事が行われた実例がある。アイスシェルと呼ばれる氷構造物内に野菜を貯蔵する技術も開発されている。氷と土粒子の混合体である凍土は構造部材として優れている。人工凍結による地盤凍結工法は土木的工事中の一時的な仮設構造物として利用するものである。砂・砂礫などを乱さないで凍結してサンプリングするため凍結法が実用化されている。汚泥処理をするため凍結融解脱水処理、凍結アンカー、凍土運搬路、凍土止水壁なども利用されている。

十勝では、冬期の自然寒気をヒートパイプを用いて地下に輸送し、地盤内に凍土の形で冷熱を貯蔵するシステムが開発された。畜産大学内に設置された人工凍土低温貯蔵庫では、バレイショなどの根物野菜、白米や生花の貯蔵に成功している。今後は、冬の寒さを冷熱エネルギーとして利用展開が期待されるとともに、そして作られた物を材料として利用する展開が期待される。

冬の道路気象

竹内 政夫 (日本気象協会北海道本部)

はじめに

気象は人間生活に様々な影響をあたえているが、道路も例外でない。温度はアスファルト舗装の流動、路盤の凍上に、降雨はのり面の土砂崩壊、落石や排水等道路の計画や建設だけでなく、安全な交通の確保のための道路の維持管理にも気象情報が重要になっている。特に積雪寒冷地では、従来からの吹雪・雪崩に加えて、脱スパイクタイヤ時代を迎えての雪氷路面が、道路の維持管理上の大きな課題になっている。ここでは、十勝地方の話題を含め冬の道路気象について紹介する。

1. 道路気象とは？

道路の本体と交通の安全・快適さ・信頼性を、良好に保つために必要な気象上の様々な問題を研究調査するのが道路気象である。しかし、道路気象という語が使われるようになったのは最近のことである。日本では、まだ道路関係者と一部の気象専門家の間でだけで通用する言葉のように思われる。日本の気象学では、道路気象は応用気象学に分類されるが、世界的には今年で7回を数える国際道路気象会議が組織され、2年毎に各国持ち回りで開かれている。そこでは、吹雪、大雪、雪崩など交通災害に結びつく現象や交通事故の誘因となる路面雪氷等と、これらを予知予測し速やかで合理的な雪氷対策をすすめるための道路気象予測および気象情報システムが、主な話題となっている。ここでも、これらを中心に述べる。

2. 吹雪・大雪

北海道の道路では、災害発生にともなう通行止め等の交通規制の原因の中で最も多いのは、吹雪である。5750kmにおよぶ一般国道では、1971年から1990年の20年間、夏冬あわせて2473件の交通規制がされている。そのうちの1254件(51%)は雪害であり、国道における災害全体の40%、雪害の80%をしめているのが、吹雪による視程障害と吹きだまりが原因となったものである。それでも、国道の防雪施設の整備や除雪サービス水準の向上によって、吹雪による通行規制の件数は20年前と比べると3分の1に減少している。また、道路における吹雪の問題は、吹きだまりから交通事故の誘因ともなる視程障害に比重が移っている。十勝は吹雪災害の少ない地方であるが、243号線阿寒横断道路は全道で4番(最近20年間で74件)に吹雪による通行止めの多い路線であり、今冬から冬期交通が可能となる273号線三国峠もまた吹雪の多い山岳道路である。道路は血管にもたとえられるように、地域と地域を結び、どれか一本でも止まると直接間接に様々な影響がおよぶ。

1日に数十cm降る大雪も交通の大敵である。十勝の冬は天気がよく雪の少な

いのが特徴であるが、全道23箇所の気象官署における大雪の記録をみると帯広と広尾が1位(102cm)と2位(96cm)をしめている。大雪は除雪機械の性能向上と体制の整備で、通行止めは減少してきたが、274号線は全道で3位(最近20年間で3件)に大雪による通行止めの多い路線である。

3. 雪崩

吹雪に次いで道路災害に多いのは、山岳部と海岸線を走る道路に発生する雪崩である。広域に発生する吹雪と異なり、雪崩の発生は局所的、瞬間的であるが大きなエネルギーが集中するため、巻き込まれると人や車に大きな被害をもたらす危険がある。このため、実際に発生しなくても危険が予想されれば通行規制がされている。かつては雪崩で通行止めになることの多かった38号線狩勝峠が、スノーシェッドなどの雪崩対策によって、雪崩の発生が殆どみられなくなった例もあるが、全道的にみると毎年数回は雪崩または雪崩の恐れによって通行規制が行われている。十勝に関係深いものでは、336号線は最近20年間でみると全道で最も通行規制件数(51件)が多い路線で、274号線の26件が2位になっている。

4. 路面雪氷

路面雪氷は、吹雪や雪崩のような災害要因とは異なり、北海道では日常的にみられる現象であるがスリップ事故や渋滞の誘因となるため、スパイクタイヤが規制されるようになってから、一層関心が高くなってきた。また、スタッドレス化にともなうと考えられる、「ツルツル路面」とよばれる種々の雪氷路面があらわれ話題となった。「ツルツル路面」を含めてアイスバーンやブラックアイスなど、スリップしやすい雪氷路面の発生条件については研究や調査がされている。一般的には、圧雪とアイスバーンは積雪が多いほどできやすく、ブラックアイスは1cm以下の降雪が日中融けて夜間に凍結した場合が多い。

十勝平野(帯広)の冬の気象(1月)を全道の気象官署23箇所と比べると、空気は乾燥し雲量は最も少なく(平均4.1)、夜間の放射冷却が強く最低気温の平均は-14.7°Cと最も低い。しかし、日中は天気が良く日照時間、日射量とも全道1位で、風も旭川に次いで2番目に弱いのでポカポカと暖かく感じられる。そして、時には記録的な大雪が降るが、平均すると少なくて降雪の深さの合計(59cm)、月最深積雪(4.2cm)はそれぞれ少ない順に6位、7位である。このような気象条件であるために、全道的にみると圧雪やアイスバーンの出現は室蘭や釧路とともに最も少ないグループにはいる。しかし、十勝を道央とむすぶ、日勝、狩勝の両峠は8割ないしそれ以上の出現率となっている。冬だけでなく、初春や秋にもこれらの峠では降雪や路面凍結のために通行止めになることもある。

5. その他の交通障害要因

道路交通は道路と車とドライバーとで成り立っており、気象もそれぞれに影響

している。例えば、雪崩や吹きだまりは道路の交通機能の障害要因であり、路面雪氷は車の走行性能の低下をもたらす。ドライバーについては、道路交通はドライバーの視覚にたよるのが特徴で、吹雪時の視程障害が代表的なものである。ここでは、吹雪時の視程障害のように通行止めのような交通規制の原因にはならないが、ドライバーに影響し交通事故の誘因になっている気象について述べる。

イ) 巻き上げ雪(雪煙)

雪氷路面を走行する車の後ろに雪が舞い上がる。これはタイヤが削り取るもの他に、路面の雪が車の後ろにできる伴流とよばれる強い渦に巻き込まれたものである。車の速度が速いほど、気温が低い新雪ほど巻き上がる雪は多くなる。そして、この雪が目線より高く舞い上がり後続車やすれ違う対向車等の視程障害になると、雪煙ともよばれ交通事故の誘因になる。特に、追い越した車が十分な車間間隔をとらず車線に入った場合、後続車に危険がおよぶ。高速道路の多重衝突事故にも雪煙が原因になったものが少なくない。気温、雪質など気象も関係するが、直接には人為的なものでありおもしろいやりをもった運転である程度は防げる。

ロ) 着雪

車を運転するドライバーは走行位置をセンターラインや路側線できめ、地形や環境変化、交通情報、交通・気象状況によって速度をコントロールし、案内標識にしたがって目的地へ向かう。このように、車の走行には様々な情報が必要になる。各種の道路標識や雪道では路側線に代わるスノーポールに着雪すると、道路の安全で円滑な交通に支障を生ずることになる。視程が悪い時にはスノーポールがガイドの働きをするが、着雪によって道路の直線と曲線の区別も難しくなる。暖かく湿った雪ほど着雪しやすいが、風が強いと気温が低く乾いた雪でも着雪する。これら道路標識等は着雪を防ぐように工夫されてきている。

6. 道路気象情報システム

吹雪や大雪あるいは雪崩の発生、滑りやすい凍結路面の出現等を検知しこれらを事前に予測するための気象情報を収集提供するのが道路気象情報システムである。これらの情報は、災害の未然防止や早期に適切な対策を行うことを可能にし、安全で円滑な交通を確保し被害を最小限に抑えるための道路管理を省エネルギー、省資源で行うのに大きな役割を果たしている。例として、北海道開発局と欧米の道路気象情報システムおよび日本気象協会の道路気象情報提供を紹介する。

(1) 一般国道274号日勝峠道路交通情報提供システム

日勝峠のシステムは気象のほかに、路面状況や交通状況の情報を収集し、道路管理だけでなく道路利用者への情報提供サービスも主な目的にしている。峠の十勝側は帯広開発建設部清水道路維持事業所が、日高側は室蘭開発建設部の管理になっている。日勝峠は雪崩や吹雪・大雪が交通障害になり、勾配が急なことと高度や地形によって路面の雪氷状況も変わる。このため日勝峠のシステムでは一

般気象要素のほかに、吹雪にたいしては視程計、路面雪氷については路面温度計等で雪氷状況をモニターしている。さらに、要所要所にテレビカメラを設置し交通状況を監視している。これらの情報はリアルタイムで、無線テレメータと光ケーブルで事業所に送られ、道路の維持管理のためにまた情報板や路側放送によって利用者への情報提供に使われている。

(2) 西欧の道路気象情報システム

西欧では道路の走行性と安全のために、塩を中心とした凍結防止剤の散布が欠かせないものとなっている。しかし、路面管理に大量の凍結防止剤を用いてきた西欧各国では、道路構造物、樹木や環境汚染等の塩害が問題化し使用量削減のため様々な努力がされてきた。凍結防止剤の使用量を削減するためには、散布方法を含めより効果的に行う必要がある。特に、凍結が予測された場所に事前散布するのが効果的であるといわれており、西欧の道路気象情報システムは、適所、適時に適量を散布するための路面凍結予測を中心に発達した。路面凍結予測システムは主として、路面温度と路面状況を舗装に埋め込んだセンサーで検出する部分と、気温、湿度や雲量等によって路面温度や凍結等を24時間先まで予測するソフトからなっている。このシステムの導入によって、塩の使用量が20%削減され、散布作業の減少による人員や機械の効果的な配置ができるなど管理コストも低減されたといわれている。

(3) マイコスによる道路気象情報

気象協会では数値予報のデータや気象衛星、レーダやアメダスを基に、道路気象予測情報を作成し、各種の実測データとともに道路管理者のパソコン端末にオンラインで配信している。このシステムをマイコスとよんで、気象協会では、24時間体制で気象の急変にそなえている。情報の内容は、実況地上天気図と予報天気図、高層天気図、気象衛星情報、アメダス情報、メッシュ情報(5kmメッシュの降水分布図と3時間先までの降水量予測)、および路線における天気、気温、路温、風向風速、降雪の深さ、吹雪の程度等の気象要素を3時間ステップで24時間先までの予測情報である。道路管理者はこの情報を受け対策等の検討をしている。

あしがき

道路と気象の関わりを道路維持管理の面から紹介した。十勝地方では、平成6年には気象条件の厳しい一般国道273号線三国峠が除雪区間になり、平成7年秋には清水一池田間の高速自動車道路の供用が予定され高速時代を迎える。冬の交通の安全性、快適性の確保のために、道路管理者、交通管理者はもとより、道路利用者も気象や道路状況の変化に合わせたデフェンシブ(防衛的)な運転等、それぞれの立場で力をあわせて脱スバイクタイヤ時代の安全な冬の道路交通を目指していただきたい。

平成7年度北海道支部気象講演会のお知らせ — 市民大学講座《新しい気象学》 —

テーマ『釧路湿原の大気環境と最近の北海道周辺の地震活動』

本年度の北海道支部気象講演は、文部省による『平成7年度科学研究費補助金「研究成果公開促進費」(研究成果公開發表B)』の助成により、市民大学講座《新しい気象学》として開催しますので、開催地及び近隣の会員の方はお誘い合わせのうえ是非参加して下さい。

日 時 平成7年10月27日(金)午後1時半～午後5時の3時間半程度

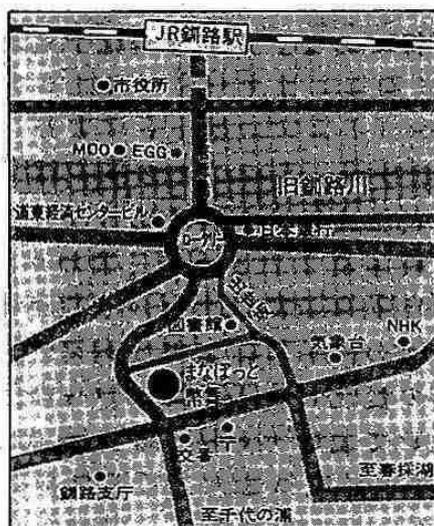
場 所 釧路市生涯学習センター「まなぼつと幣舞」2階多目的ホール(入場無料)
釧路市幣舞町4番28号(くしろバス停留所「公民館前」下車徒歩1分)

講演内容 講師4名により、次の構成で一般市民を対象に身近な気象現象と最近の北海道周辺の地震活動について講演する。

- ① 釧路地方の気象特性
(釧路地方気象台 安部信一 予報官)
- ② 釧路湿原の気象
(北海道大学大学院地球環境科学研究科 高橋英紀 助教授)
- ③ 道東における酸性霧の発生と気候システム
(北海道教育大学教育学部釧路校 西尾文彦 教授)
- ④ 北海道周辺の地震活動
(北海道大学理学部付属地震予知観測地域センター長 笠原稔 助教授)

主 催 日本気象学会北海道支部

後援機関 文部省 東北海道地区国立公園・野生生物事務所 釧路市教育委員会
北海道教育大学教育学部釧路校 NHK釧路放送局 北海道新聞釧路支社
日本気象協会釧路支部 釧路地方気象台



—写真訪問—

毛無山気象レーダー観測所 (札幌管区气象台)

1 気象レーダー観測所

札幌気象レーダーは、管区气象台構内（札幌市中央区北2条西18丁目）に設置されてから18年が経過し、老朽化による性能劣化が著しく安定運用に困難を来しており、近年建築物の高層化による探知しにくい範囲も顕在化したことなどから、平成6～7年度の2ヶ年計画で小樽市郊外の毛無山に移設し、遠隔制御監視方式のレーダーとして平成7年9月1日から運用を開始した。

毛無山は、札幌市街（气象台）から直線距離にして西北西約30km、小樽市の南約7 kmに位置する標高700mの山で、周囲にはNTT、小樽市消防本部、土木現業所の無線中継所が存在している。

毛無山レーダー局舎は、筋コンクリート2階建てで各階とも2室を備えている。

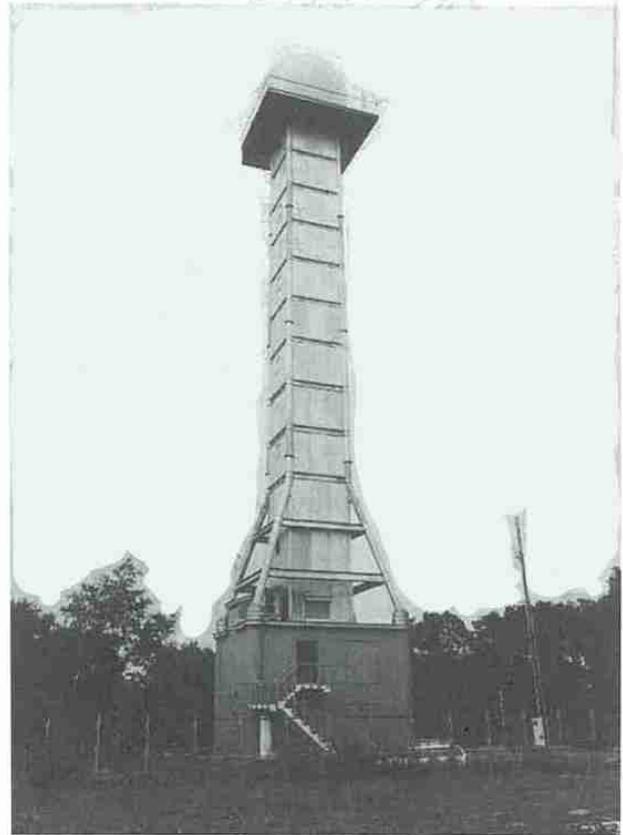
1階には電源室があり、予備電源用の発動発電機は空冷式のディーゼルで30KVAの電源を保持し、停電時にはレーダー装置及びその付帯施設に電力を供給する。

廊下を挟んだ隣室は、待機室でレーダー装置の保守・点検時や故障時には職員の休息室となる。

特に長期にわたる点検調整を要する時には仮泊出来る設備も保有している。

2階は、レーダー機械室で送受信装置及び信号処理装置等の装置類が設置されている。その他各種の計器類などを収納しておく倉庫を備えている。

局舎の屋上には、37.2mの直方型の鉄塔を建設、その上部にパラボラアンテナ及び駆動部を設置し、これらは雨、風、雪等による障害防止のために7mのレドームで覆われている。



毛無山気象レーダー観測所（札幌管区气象台）

2 新レーダー機器について

新しい札幌気象レーダーは、毛無山局舎（山頂局）が無人運用となるため、管区气象台に新たに遠隔制御

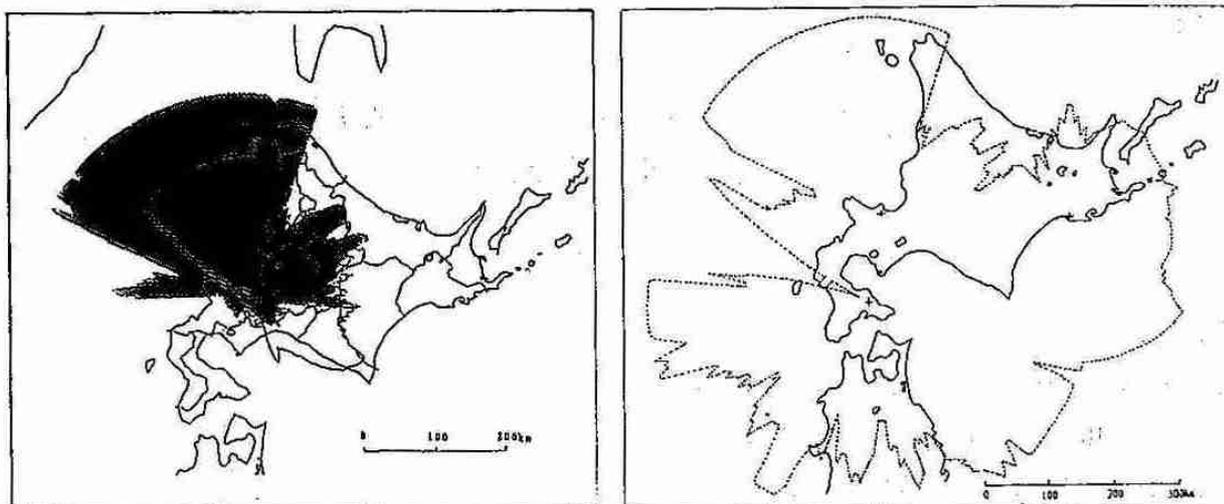


図1 新レーダーの探知範囲と合成図
 左図：探知範囲 新レーダー（陰影の破線） 旧レーダー（実践）
 右図：札幌（毛無山）、函館（横津岳）、釧路の3レーダー合成図
 いずれも等ビーム高度2,000m 線を表わす。

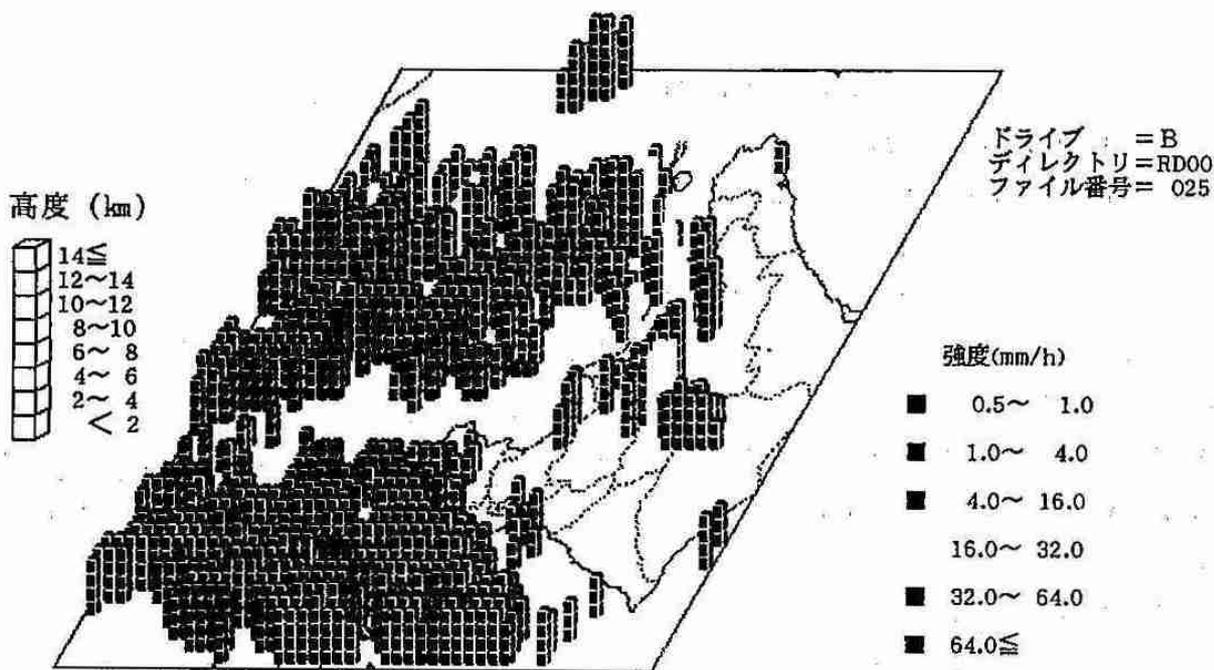


図2 鳥 瞰 図
 エコー強度は棒グラフの色で、エコー頂高度は棒グラフの長さで表示。

監視装置等を整備して、山頂局の各装置を制御し監視する機器構成となっている。

また、新レーダーは、ミニコンを配して3台のワークステーションが導入されており、各装置間の接続についても一部光ケーブルが採用されている。これにより、信号処理・データ処理の高速化と汎用化が図られるとともに、雷災にも考慮したシステムになっている。

設置場所及び装置類の主な新旧比較は、次の様になっている。

項 目	新	旧
設 置 場 所	小樽市朝里川温泉463-1	札幌市中央区北2条西18-2
空 中 線 海 拔 高 度	752.5m	72.1m
レドームの直径	7 m	5.5m
空 中 線 の 直 径	4 m	3 m
送 信 周 波 数	5,310MHz	5,300MHz
送 信 電 力	250KW	250KW
エコー強度観測	5仰角	3仰角
エコー頂高度観測	13仰角	10仰角

山頂局で観測したレーダー信号は、地形エコーの除去、距離補正、混信の除去等のデータ処理を行い、管区气象台側に伝送される。

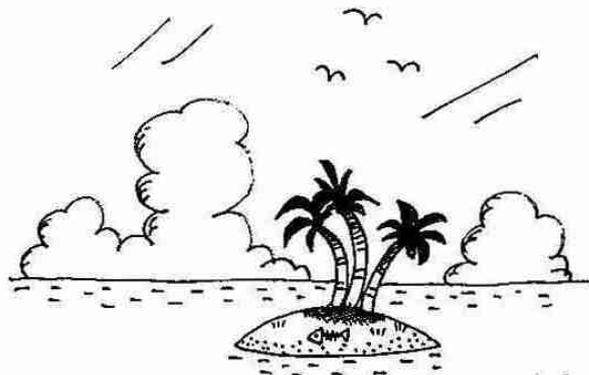
管区气象台側では、伝送されたレーダー信号について各種の処理等を施し、エコー強度データ、エコー頂高度データ、一時間積算降水強度データを作成する。

これらデータは、気象専用回線により本庁並びに予報中枢官署に集められ全国・地方レーダーエコー合成図や降水短時間予報情報等として利用者に提供される。

更に新レーダーは海拔高が高くなったため、西海上はもとより留萌沿岸から宗谷北部にかけ探知範囲が拡大し、旧レーダーからみると面積にして約2倍の改善がなされたことになる。

この降水探知範囲の拡大により、冬期西方海上の異常現象監視に貢献するほか洪水予報など予警報業務の質的向上に資することが期待される。

(札幌管区气象台観測課 金子和康)



— 会員寄稿① —

南鳥島 — 日本最東端の気象観測所 —

札幌管区気象台高層課 青山 隆

1. はじめに

日本の最東端はいったいどこか。それは根室の納沙布岬ではなく、太平洋上に浮かぶ南鳥島(旧島名 Marcus Island)であることは以外と知られていない。その南鳥島には、気象庁による地上気象、高層気象観測などの定常観測を行っている気象観測所がある。筆者は1993年11月下旬から1994年2月中旬の約3ヶ月間同観測所で勤務する機会を得たので、同観測所で行われている観測の概要及び島の様子、印象について述べようと思う。

2. 南鳥島とはどんな島か

南鳥島の位置は北緯24度17分、東経153度58分で東京の南南東約1,950km、最も近い陸地が1,200km西の硫黄島であり、まさに太平洋に浮かぶ絶海の孤島である。しかも島の周囲が約5.5km、面積は約1.4km²、最高海拔高度も8mしかない大変小さな島である。年平均気温は25.1度と日本国内の気象官署では一番高い。島本体はサンゴ等の砂礫から出来ており、ビーチは真白で実に美しく、島の中は所々草地が見られるほかは、ヤシ、モンパ、パパイアの繁茂するジャングルが広がっている。海岸線やジャングルの中には、太平洋戦争中の日本軍のトーチカ、塹壕の跡や朽ち果てた戦車、不発弾などが今でも残っている。この島の住人は、全員公務員で気象庁、海上自衛隊、海上保安庁の職員のみで総勢40人程で、いわゆる一般の住民は一人もいない。現在のところは全員男性である。南鳥島への交通手段は、現在のところ航空機に頼るしかなく、船で往来する人は殆どいない。勿論、民間航空会社の定期便などはなく、気象庁の職員も自衛隊の輸送機で現地入りする。

各官庁の主な仕事は、気象庁は言うまでもなく気象観測、自衛隊は滑走路の維持、管理、航空機の管制業務、海上保安庁はロランC施設の維持、管理を行っている。南鳥島の居住区は、気象庁と自衛隊は同じ庁舎で共同生活しているが、海上保安庁は1993年10月まで駐屯していたアメリカ沿岸警備隊の隊舎をそのまま引き継いで居住しているため、気象庁側からは1km程離れている。以下は気象庁、自衛隊に関するものについて述べることにする。

生活に関しては、まず電気は発電所があり殆ど不自由することはなく、庁舎内も強力な冷房が完備しているので外に出なければ快適である。ただし、日本国内にもかかわらず本土からあまりにも遠いため、電話も

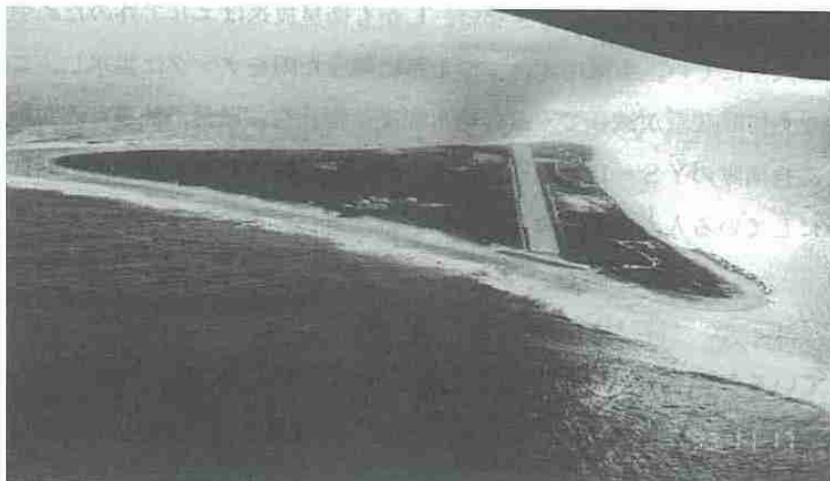


写真1 C130型輸送機上から見た南鳥島全景。滑走路等が見える。



写真2 旧日本軍の戦車、砲塔は崩れ落ちている。



写真3 気象観測所庁舎。屋上に測風塔、日射計がある。



写真4 気象観測所の屋上から見た観測露場。

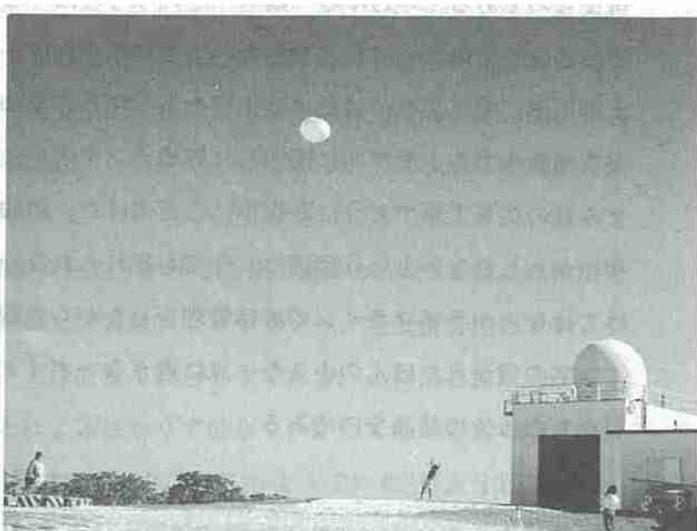


写真5 レーウィンゾンデ放球の様子。

なく国内向けのテレビ、ラジオは全く受信できない。しかも衛星放送はエリア外のため受信不能で、ニュースなどの情報は非常に入りにくい。生活用水は、滑走路に降った雨をタンクに集水し、これを浄化して使用している。雨が少なくて貯蔵量が減ってくると給水制限が行われ、風呂、洗濯などが制限される。食料、郵便物などの物資は、自衛隊のYS-11型輸送機により週一回空輸され、一週間分の新聞、ビデオテープなど週に一度の楽しみにしている人もいる。また、燃料、観測器材、その他重量物などは年2回補給船が来て陸揚げしている。

3. 南鳥島で行っている気象観測

南鳥島で気象庁が行っている気象観測は、地上気象観測、高層気象観測、航空気象観測（航空機の離発着時）、大気バックグラウンド汚染観測である。地上気象観測は03h、09h、15h、21hの1日4回行っており気圧、気温、風向、風速、湿度、降水量、視程、雲、大気現象といった基本的な気象要素は全て観測している。高層気象観測は09hと21hの1日2回レーウィンゾンデにより気温、気圧、湿度、風向、風速について観測している。地上及び高層データは、衛星通信回線を使って本土に通報されている。航空気象観測は、自衛隊側からの要請により1時間毎に行い、観測データは自衛隊の管制通信官によって航空機へ通報される。バックグラウンド観測は気候変動、地球環境問題への社会的関心の増大に対応するため、1994年度から本格的に始められたもので地上オゾン、二酸化炭素、一酸化炭素、二酸化硫黄、アンモニアなどの量を観測している。

4. おわりに

広大な太平洋上の気象観測点密度は、その面積に比べ極めて希薄でしかもその多くは地上気象観測主体である。そうしたなかで北西太平洋上の孤島でこれだけ多種の観測を定期的に行っている意義は極めて重要といえる。また、その観測精度の維持は勿論のこと観測所そのものの維持、管理をするための職員の苦労は相当なものである。いわゆる“業者”というものはないので、あらゆるトラブルに島内の数少ない職員だけで殆ど全て対処しなければならない。気象庁からは、観測専門以外の担当者も派遣されてはいるが観測員も土木工事、電気工事、自動車整備等々あらゆる作業に従事することになる。筆者も滞在中に庁舎内の全水道が突然断水するトラブルに遭遇し、貯水タンクの中に入ったり、埋設管を掘り起こしたりの全職員2昼夜泥まみれの突貫工事で行きか復旧にこぎ着けた。勿論、観測も休むわけにはいかない。もう真水が手に入らないかもしれないという恐怖は、今でも忘れられない。このような大きなトラブルは、そう頻繁に起こるわけではないがライフラインの維持管理をしながらの観測の大変さを痛感した。天気図上で見ると、なにげなく数字の書かれたほんの小さな一点に過ぎないポイントであるが、その数字は現地でデータを送り続ける職員たちの苦労の結晶なのである。

— 会員寄稿② —

カナダ北極圏タクトヤクタック滞在記

北海道大学大学院理学研究科

遊馬 芳雄・岩田 総司・島村 泰介

カナダ北極圏のビューポート海周辺は海が完全に氷で覆われてしまう直前の晩秋から初冬にかけて多くのストーム (Severe Storm) が通過する。このストームは強風と継続時間の長さが特徴的である。統計によるとこの期間、時間比率にして30%もの期間がストーム内にあると報告されている。カナダ北極圏で行われたBASE (Beaufort and Arctic Storms Experiment) はこのストームを観測ターゲットにおいたカナダ国内初の国際観測研究プロジェクトである。プロジェクトはカナダの気象庁に対応する大気環境局 (Atmospheric Environment Service ; AES)、トロント大学を始めとするカナダ国内の大学、アメリカの国立大気科学研究センター (National Center for Atmospheric Research ; NCAR)、ロシアの中央高層観測所 (Central Aerological Observatory) からの多くの研究者が参加していた。我々日本からも文部省国際学術研究 (海外学術調査 ; 現地調査) 『中緯度の気象・気候に与える極気団の形成と活動に関する研究』 (研究代表者 : 東京大学海洋研究所 木村龍治教授) の一環として北海道大学大学院理学研究科の偏波ドップラーレーダーを北極海のビューポート海に面するカナダ・ノースウェスト準州タクトヤクタック (Tuktoyaktuk) に設置し観測を行った。日本からの参加はレーダー観測に北海道大学大学院理学研究科の菊地勝弘教授、上田 博助教授、東京大学海洋研究所坪木和久助手、それに我々3人、この他に、タクトヤクタックから約100 km 内陸に入ったイヌビク (Inuvik) で降水の化学成分を調べる北海道大学低温科学研究所遠藤辰雄助教授、航空機での大気中の微粒子のサンプリングを担当する群馬大学大和政彦講師の計8名の参加であった。研究成果に関しては日本気象学会の全国大会や支部研究会 (平成7年度第1回支部研究発表会に一部紹介されている。) で公表されているので、詳しくはそちらを参照していただくとして、ここでは現地観測にまつわるいくつかのこぼれ話を紹介する。

我々の観測地点のタクトヤクタックは現在は人口1,000人たらずの小さな街であるが、かつては北海油田の採掘で国際線の航空機も飛ぶような大きな町であった。地元の人々はタクトヤクタックを愛情を込めてタックと呼ぶ。写真1はタックのメインストリートであるが、どことなく寂しそうである。これはこれから訪れる厳しい冬と森林限界を越えた地で立木が1本もないことによるばかりではなく、かつて盛んであった北海油田は現在はあまり採掘も行われてなく、街には空き家が目だっていたことにもよっていた。BASEプロジェクトの本部がおかれたイヌビクまではボーイング737のような大型旅客機がエドモントンやカルガリなど

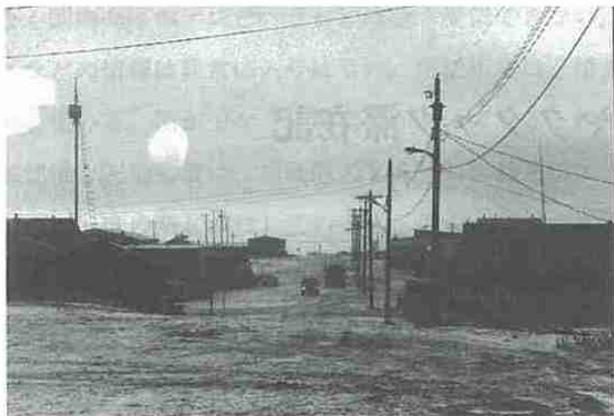


写真1 タックのメインストリート。



写真2 タックに設置したレーダーサイト。



写真3 ゾンデの飛揚光景。



写真4 自動気象観測装置
(Automated Weather Station; AWS)。

の南部にある大都市との間を盛んに行き来し大量の物資を運んでいるが、そこからタックまではツインオッターやドーニャと呼ばれる10人乗り程度のプロペラ機が輸送の主体となる。冬はマッケンジー川の水が凍りアイスロードとなりイヌビクから陸送が可能となって、大量の物資の輸送が可能となるが、その時期には少し早かった。我々のレーダーも飛行機で空輸することとなった。飛行機の運航の交渉は現地で行うことになったが、空港カウンターにいたりんごを頬張りながら仕事をしていたお兄さんは実はパイロットで、ある時は乗客の荷物を運び、生活物資や荷物を機内に固定し、座席を作り、離陸前には乗客にスチュワーデス並の注意を与え、一人で何役もこなしていたのには驚いた。

レーダー観測は写真2のように警察署 (Royal Canadian Mounted Police ; RCMP) の裏庭に貨物用コンテナの上にレーダーアンテナを設置し、その横にあるオフィスコンテナ内でレーダーのオペレーションを行った。このオフィスコンテナはそりが付いていて、24時間暖房を焚くことができる設備を備えた特別なコンテナであった。氷に閉ざされた冬季間どこにでも移動することのできる北極圏ならではのコンテナである。このコンテナを利用した臨時観測点で我々のレーダー観測以外にもカナダの観測隊からゾンデ (写真3) と日本のアメダスに相当する自動気象観測点 (Automated Weather Station ; AWS) (写真4) が設置され、BASE期間中の観測の強化が計られた。

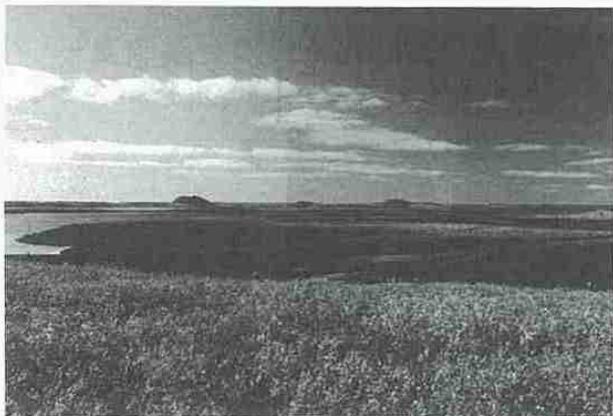


写真5 ピンゴ。



写真6 北極海に映るオーロラ。

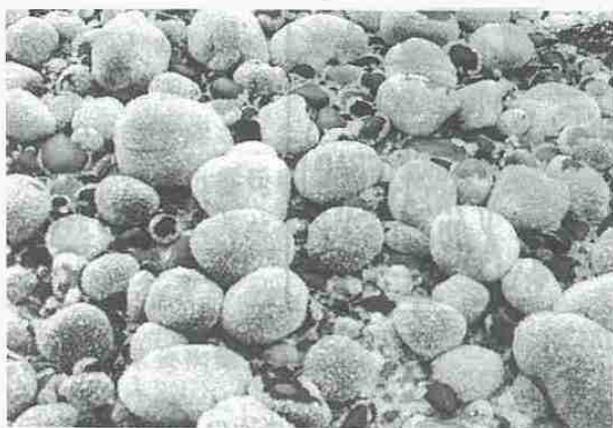


写真7 小石からの氷の成長。



写真8 写真7の拡大写真。

タックでは極域の厳しい自然の中で独特の雄大な姿をかいまみることができた。その一つに、ピンゴと呼ばれる小高い山が挙げられる(写真5)。ピンゴは一見すると小さな火山に見える。ピンゴの下には氷がありかつては沼であったそうである。地中の水が凍り周囲の地面を徐々に持ち上げこのような火山の様な形になったと説明されている。ピンゴにも一生の変化があり、若いピンゴは斜面が急で山頂がとんがっているが、年老いて来ると斜面が緩やかになってやがてしぼんでしまうそうである。

極域の夜を彩るのはやはりオーロラであった。タックは丁度オーロラ帯の北端に当りオーロラは頻繁にみられる地帯である。しかしながら、この時期はストームの観測が計画されたことからわかるようにほとんどがストーム内であって晴天日は非常に少ない。我々が滞在していた1カ月半に2回しかオーロラは見られなかった。しかし、その2回のオーロラは見事であった。音もなく全天急速に変化し突然波うったり、渦巻いたり、放射状に見えたりする。見事なオーロラが見えると、街中歓声が聞こえた。オーロラの写真を撮ることは動きの速さと露出不足から素人にはちょっと苦勞するが、写真6は筆者の一人でもあるカメラの得意な学生が苦心をして撮影した1枚である。渦巻状のオーロラと北極海に写る光が見事でよくみると海上に小さな流氷が浮かんでいる。

観測の終盤になると寒さも厳しくよく晴れた朝方、日本ではなかなか見ることのできないような現象がみられた。写真7、8は海岸で見られた光景である。タック周辺のビューフォート海の海岸はマッケンジー川



写真9 地元紙“INUVIK DRUM”に紹介されたBASE観測プロジェクトの1コマ漫画。

が運ぶ小石で覆われているが、まだ完全には海が結氷していないので、海岸へりには多くの水蒸気が存在し、夜間冷却で冷えた小石から氷が昇華凝結成長する。いわゆる霜である。まりもの様に氷で覆われた小石がとても珍しかった。また、夜間冷却が激しいときには湖や海の氷面や雪面からも霜が成長する。太陽光をキラキラと反射させ、上を歩くと少しシャリシャリと音がする。この様なとき、道端の小石を湖の氷面上に投げ入れると小石がバウンドするたびに小太鼓のような軽快な音が聞こえ、その音が我々には珍しくしばらくの間小石投げに没頭してしまった。

そして最後に、写真9は地元の新聞“INUVIK DRUM”に観測プロジェクトを紹介された時の一コマ漫画である。地元の人にとってストームは単におさまるものを待つだけで、家の中でじっと寝ているしかないのに、ストームが来ると気象学者達は外に出て大はしゃぎで飛び回っていることをユーモアたっぷりで紹介している。地元の人にとっては不思議に映るかもしれないが、我々中緯度に住む者にとっては極域は憧れの地であり、我々にはなかなか想像できない地球規模での大気現象にしばしば遭遇する。極域は自然環境の厳しい場所であるが、それだけ我々の好奇心を満足されてくれる。

—支部総会報告—

平成7年度日本気象学会北海道支部総会報告

平成7年度日本気象学会北海道支部総会は、平成7年6月5日(月)13時30分から北海道大学理学部3号館(出席者28名、委任状75名)において開催した。

高橋幹事長(北海道教育大学教育学部)の開会挨拶の後、議長選出を行なった。

議長には、山崎孝治会員(北海道大学大学院地球環境科学研究科)が選出され、議長挨拶の後、次の順で議事が進められた。

菊地勝弘支部長(北海道大学大学院理学研究科)の挨拶に始まり、窪田常任理事(札幌管区気象台長)から平成6年度事業報告、生本理事(札幌管区気象台)から平成6年度決算報告、石川会計監査(北海道大学低温科学研究所)から平成6年度会計監査報告があり、出席会員全員の拍手で承認された。

続いて、窪田常任理事から平成7年度事業計画、生本理事から平成7年度予算案が説明され、いずれも原案どおり承認された。

【支部総会次第】

- 1 開 会
- 2 議長選出
- 3 議長挨拶
- 4 支部長挨拶
- 5 議 事
 - (1) 平成6年度事業報告
 - (2) 平成6年度決算報告
 - (3) 平成6年度会計監査報告
 - (4) 平成7年度事業計画(案)
 - (5) 平成7年度予算(案)
- 6 その他
- 7 閉 会

【平成6年度支部事業報告】

1 平成6年度支部総会

平成6年6月24日(金)開催 13時30分～14時00分
(北大理学部3号館地球物理学教室3の401講義室) 総会出席者22名、委任状53名

2 平成6年度支部研究発表会

第1回 平成6年6月24日(金)開催 14時15分～16時40分
(北大理学部3号館地球物理学教室3の401講義室) 37名参加

第2回 平成6年11月25日(金)開催 13時30分～16時20分
(札幌管区气象台大会議室) 36名参加

3 第12回夏季大学

平成6年7月28日(木)～7月29日(金)開催

第1日目:札幌市青少年科学館10時～17時 44名参加

第2日目:(財)日本気象協会北海道本部10時～17時 44名参加

講義は4題、他に科学館、MICOS等各施設を見学。

講師・講義:金村 直俊(札幌総合情報センター)【札幌市の降雪予測システム】

平井 諭(青少年科学館)【星空ウォッチング】

光永佳津実(日本気象協会)【わかりやすい天気図の書き方と見方】

若原 勝二(札幌管区气象台)【冷夏と暑夏】

4 気象講演会

(1) 支部気象講演会開催

支部気象講演会(テーマ「十勝の気象と生活」)は、帯広市において予定どおり開催(参加人数 70名)した。

開催日時:平成6年10月14日(金)13時30分～16時30分

開催場所:勝毎ホール(帯広市東1条南8丁目2番地:勝毎ビル5階)

講師・演題:三輪 健治(元釧路地方気象台長) 【十勝春風考】

土谷富士夫(帯広畜産大学助教授) 【十勝の寒さと土壌凍結】

竹内 政夫(気象協会北海道本部技師長) 【冬の道路気象】

(2) 特別講演会開催

平成7年1月24日(火)北海道大学理学部地球物理学科3-402室で開催した。

講師:Dr. Dusan S. Zrnica (NSSL研究部長・オクラホマ大学教授)

演題:POLARIMETRIC MEASUREMENTS OF PRECIPITATION AT

NOAA's NATIONAL SEVERE STORMS LABORATORY

5 支部機関誌「細氷」第40号発刊

10月25日印刷、11月7日発行

6 支部理事会

- 第1回 平成6年 6月17日(金)開催 (於:札幌管区气象台)
 第2回 平成6年10月11日(火)開催 (於:札幌管区气象台)
 第3回 平成7年 3月 1日(水)開催 (於:北海道大学)

7 支部幹事会

- 第1回 平成6年 6月10日(金)開催 (於:札幌管区气象台)
 第2回 平成6年 7月11日(月)開催 (於:札幌管区气象台)
 第3回 平成7年 2月28日(火)開催 (於:札幌管区气象台)

【平成6年決算報告】

収入

項目	予算(円)	決算(円)	備 考
前年度繰越金	66,112	66,112	
本部交付金	332,500	348,805	250名×850円+120,000円+増額分
夏季大学交付金	100,000	100,000	本部から入金
広告料	260,000	360,000	
預金利子等	1,500	6,159	細水バックナンバー販売・預金利子
合 計	760,112	881,076	

支出

項目	予算(円)	決算(円)	備 考
理 事 会	10,000	12,331	お茶等購入代(3回開催)
役員選挙関係費	50,000	63,530	封筒,投票用紙,名簿,注意書き等印刷代
総会・研究発表会	10,000	0	
事務費	10,000	0	
通信費	20,000	21,600	切手購入代
夏季大学経費	100,000	82,996	印刷料,装丁証書等代
細水40号経費	360,000	361,220	印刷代,印刷料,郵送料
交通費	40,000	2,540	総会車代
交通費	40,000	2,540	総会車代
気象講演会経費	150,000	238,949	会場,看板,予備集,ポスター,印刷料等
予備費	10,112	0	
合 計	760,112	783,166	

平成6年度決算について相違ないことを証明します。

平成7年3月27日

会計監査 石川 信敬 ㊞

【平成7年度支部事業計画案】

1 平成7年度支部総会

平成7年 6月 5日(月) 13時30分～

於：北大理学部3号館地球物理学教室3の401講義室(4F)

2 平成7年度支部研究発表会

第1回 平成7年 6月 5日(月) 14時10分～17時00分

於：北大理学部3号館地球物理学教室3の401講義室(4F)

第2回 (日時未定) 於：札幌管区气象台会議室

3 第13回夏季大学

開催日時 平成7年 7月27日(木)～28日(金)

開催場所 第1日(27日) 札幌市青少年科学館

第2日(28日) (財)日本気象協会北海道本部

教科内容 講義は4題、他に施設見学(札幌市青少年科学館・札幌管区气象台の各施設)

4 気象講演会

市民大学講座「新しい気象学」〈釧路湿原とその大気環境〉

開催日時：平成7年10月27日(金) 13時30分～17時00分

開催場所：釧路市生涯学習センター 多目的ホール

講演予定：① 安部信一予報官 釧路地方气象台技術課 【釧路地方の気象特性】
② 高橋英紀助教授 北大大学院地球環境科学研究科 【釧路湿原の気象】
③ 西尾文彦 教授 北海道教育大学釧路校 【釧路の酸性霧】
④ 笠原 稔助教授 北大理学部付属地震予知観測
地域センター(センター長) 【北海道周辺の地震活動】

5 支部機関誌「細水」第41号発行【平成7年10月末刊行予定】

6 支部理事会

第1回 平成7年 5月26日(金) (於：札幌管区气象台)

第2回 平成7年 9月中旬頃予定 (於：札幌管区气象台予定)

第3回 平成8年 3月上旬頃予定 (於：北海道大学予定)

7 支部幹事会

第1回 平成7年 4月17日(月) (於：札幌管区气象台)

第2回 平成7年 9月上旬頃予定 (於：札幌管区气象台予定)

第3回 平成8年 2月下旬頃予定 (於：北海道大学予定)

【平成7年度予算案】

収入

項 目	金 額 (円)	備 考
前年度繰越金	97,910	
本部交付金	341,000	260名×850円+120,000円=341,000円
夏季大学交付金	100,000	本部交付金
気象講演会等補助金	250,000	市民大学講座「新しい気象学」
広 告 料	160,000	細水の広告料
預 金 利 子 等	300	(見込額)
合 計	949,210	

支出

項 目	金 額 (円)	備 考
理 事 会	13,000	お茶等購入費(3回開催)
総会・研究発表会	20,000	お茶等購入費(支部総会1回、研究発表会2回)
事 務 費	40,000	ファイル等購入費・郵送・運送料等
夏季大学及び 気象講演会経費	441,000	会費、予稿集印刷費等、特別講演会1回含む
細水41号経費	370,000	印刷・製本費、原稿料等
交 通 費	40,000	理事旅費等
予 備 費	25,210	
合 計	949,210	

—役員会報告—

《平成6年度日本気象学会北海道支部役員会報告》

1 平成6年度第1回理事会 (細水40号118頁で報告済み)

2 平成6年度第2回理事会

(1) 開催日時：平成6年10月11日(火)15時～16時

(2) 開催場所：札幌管区気象台技術部長室

(3) 出席者：菊地、工藤、山崎、生本、高橋、富沢

(4) 報告及び打合せ事項

ア 支部長挨拶

イ 第12回夏季大学講座の実施報告について

ウ 平成6年度気象講演会について

エ 平成6年度会計中間報告について

オ 平成6年度第2回研究発表会について

カ 支部機関誌「細水」第40号の発行について

キ 第3回理事会の開催について

3 平成6年度第3理事会

(1) 開催日時：平成7年3月1日(水)15時30分～17時

(2) 開催場所：北海道大学理学部3号館4階404室

(3) 出席者：菊地、窪田、工藤、遠藤、山崎、生本、高橋、遊馬、若林、佐竹、富沢、酒井

(4) 報告及び打合せ事項

ア 支部長挨拶

イ 平成6年度支部事業報告について

ウ 平成6年度支部会計報告について

エ 支部会員数の動向について

オ 支部研究発表会の開催場所について

4 平成6年度第1回幹事会【平成6年6月10日(金)15時～17時 札幌管区気象台】

(1) 出席者：高橋、遊馬、若林、佐竹、富沢、酒井

(2) 報告及び打合せ事項

平成6年度第1回理事会及び支部総会並びに第1回研究発表会の開催について

5 平成6年度第2回幹事会【平成6年7月11日(月)15時～17時 札幌管区気象台】

(1) 出席者：高橋、遊馬、若林、佐竹、富沢、酒井

(2) 報告及び打合せ事項

平成6年度第2回理事会及び第2回研究発表会の開催について

6 平成6年度第3回幹事会【平成7年2月28日(火)15時～17時 札幌管区気象台】

(1) 出席者：高橋、遊馬、若林、佐竹、富沢、酒井

(2) 報告及び打合せ事項

平成6年度第3回理事会の開催について

《平成7年度日本気象学会北海道支部役員会報告》

1 平成7年度第1回理事会

(1) 開催日時：平成7年5月26日（金）13時30分～17時

(2) 開催場所：札幌管区気象台 台長室

(3) 出席者：菊地、窪田、生本、桜岡、石川、高橋、若林、佐竹、西山、永戸

(4) 報告及び打合せ事項

ア 支部長挨拶

イ 新理事の補充

嘉味田宗治理事転出のため、新理事として桜岡 勉函館海洋気象台長が選出された。

ウ 新幹事の指名

富沢節夫及び酒井喜敏幹事転出のため、新幹事として札幌管区気象台の西山利彦及び永戸久喜が指名された。

エ 平成7年度業務分担（理事・幹事）

理事・幹事の平成7年度業務分担が次のように決定した。

企画・総括担当：理 事	窪田、山崎	幹事長	高橋
講演担当：理 事	工藤	幹 事	佐竹
細氷担当：理 事	生本	幹 事	遊馬
夏季大学担当：理 事	遠藤	幹 事	若林
庶務・会計担当：		幹 事	西山、永戸

オ 平成6年度事業報告及び決算報告

平成6年度の事業報告及び決算報告並びに会計監査報告は、それぞれ高橋幹事長、西山幹事、石川会計監査から資料に基づき報告された承された。

カ 平成7年度事業計画案及び予算案

7年度事業計画案は高橋幹事長から、7年度予算案は西山幹事から、また文部省学術国際局から交付内定のあった平成7年度科学研究費補助金「研究成果公開促進費」の交付申請書について、西山幹事から資料に基づき説明された。

(7) 平成7年度事業計画案は原案どおり、また予算案は原案を一部修正し了承された。

(4) 細氷41号発刊について、遊馬幹事から頁数の縮小、研究発表原稿の題目及び氏名の活字拾いを止める等の措置を施し、昨年並みの予算で刊行することで業者と調整していること及び10月末を目途に刊行するとの説明があった。

(ウ) 夏季大学について、若林幹事から平成7年7月27～28日に青少年科学館及び日本気象協会北海道本部で行い、講師は札幌総合情報センター職員等も考えているが、青少年科学館と調整し演題を含め早急に検討するとの説明があった。

(エ) 平成7年度気象講演会は、佐竹幹事から補足説明があり、平成7年10月27日（金）に釧路市で開催すること及び釧路市の地域環境を勘案し地震の演題を含め4題とする

ことになった。

(イ) 高橋幹事長から支部事業の各種案内について、次の方針で実施していくとの意見が述べられ了承された。

a 支部事業の各種案内等

- a) 支部総会案内及び研究発表会プログラム（全会員）
- b) 支部機関誌「細水」（全会員）
- c) 特別講演会及び気象講演会（全会員または開催地近郊会員）
- d) 理事選挙関係（全会員）

なお、複数の会員が所属している機関については、郵送費節約のため、代表一人に全員分を郵送することとする。

b 支部研究発表会の申込みについて

郵送費節約のため、支部研究発表会の申込み案内を廃止する。今後は、申込み締切りを下記のように定例化し、「細水」41号の支部研究発表会原稿作成要領に掲載して全会員に周知する。

【申込み方法】 申込み希望の方は、期日までに発表題目・氏名（共同研究の場合には発表者に○印）・使用機器（スライド・OHPの使用有無）を事務局まで連絡すること。

【申込み期限】 第1回 5月20日必着、第2回 10月20日必着

キ 平成7年度支部総会及び研究発表会

本年度の支部総会の役割分担が了承され、本年度の支部総会及び第1回研究発表会は、平成7年6月5日（金）に開催することです承された。

ク 細水41号の発刊については、掲載概要及び原稿作成分担等が了承され、例年どおり10月末を目途に刊行することになった。

2 平成7年度第1回幹事会【平成7年4月17日（月）15時～17時 札幌管区气象台】

(1) 出席者：高橋、遊馬、若林、佐竹、西山、永戸

(2) 報告及び打合せ事項

平成7年度第1回理事会及び第1回研究発表会の開催について

—支部役員—

日本気象学会北海道支部役員名簿

平成7年 5月26日

役職名	氏名	所属
支部長理事	ネクチ カツヒロ 菊地 勝弘	北海道大学大学院理学研究科
常任理事	クボタ ススム 窪田 将	札幌管区气象台
常任理事	クドウ タツヤ 工藤 達也	札幌管区气象台技術部
常任理事	エンドウ タツオ 遠藤 辰雄	北海道大学低温科学研究所
常任理事	ヤマヅキ ミチオ 山崎 道夫	日本気象協会北海道本部
理事	サクラオカ ツトム 桜岡 勉	函館海洋气象台
理事	イクモト タクシ 生本 武	札幌管区气象台技術部
会計監査	イシカワ ノブヨシ 石川 信敬	北海道大学低温科学研究所
幹事長	タカハシ ツネヤ 高橋 庸哉	北海道教育大学教育学部
幹事	アスマ ヨシオ 遊馬 芳雄	北海道大学大学院理学研究科
幹事	ワカバヤシ トクシ 若林 徳司	日本気象協会北海道本部
幹事	サタケ マサハル 佐竹 正治	日本気象協会北海道本部
幹事	ニシヤマ トシヒコ 西山 利彦	札幌管区气象台技術部
幹事	エイト ヒサキ 永戸 久喜	札幌管区气象台技術部

—支部交換機関誌—

- ・ 東北支部だより 第 2 0 号 (1994. 7)
 第 2 1 号 (1994.11)
 第 2 2 号 (1995. 3)
 第 2 3 号 (1995. 7)

- ・ 中部支部だより 第 4 2 号 (1994. 7)

- ・ 関西支部ニュース 第 2 1 8 号 (1995. 3)
 第 2 1 9 号 (1995. 5)

- ・ 九州支部だより 第 7 3 号 (1994. 7)

- ・ 東北支部 気象講演会講演要旨 1994.10.12 山形
 平成 6 年度東北支部講演会予稿集 1994.11.22 仙台

- ・ 中部支部 研究会講演要旨集 第 1 0 号 1994.11.29~30 長野
 第 1 回夏期大学 (台風の科学と防災) 1994. 7.27~28 名古屋

- ・ 関西支部 例会講演要旨集 第 6 8 号
 (大規模現象からメソ現象まで) 1994.10.28 京都
 例会講演要旨集 第 6 9 号
 (局地気象と中小規模現象) 1994.11.15 香川
 例会講演要旨集 第 7 0 号
 (中小規模現象と局地気象) 1994.11.25 広島
 例会講演要旨集 第 7 1 号
 (大規模現象からメソ現象まで) 1995. 1.27 神戸
 1 9 9 4 年度関西支部年会講演予稿集 1995. 6.20 大阪
 1 9 9 5 年度関西支部年会講演予稿集 1995. 6.20 大阪
 第 1 6 回夏季大学 (新時代の天気予報) 1994. 7.26 大阪

- ・ 沖縄支部 1 9 9 4 年例会講演予稿集 (第 2 3 回) 1994. 3. 9~10 石垣

—支部通信欄—

1 事務局からのお願い

(1) 退会・転出・転入された方へ

日本気象学会から退会される方、北海道支部から他支部への転出、他支部から北海道支部に転入された方は、日本気象学会本部事務局へ連絡するとともに支部事務局へもご連絡願います。(支部事務局への連絡は、『細氷』末頁の【所属(住所)変更届】をご利用願います。)

(2) 平成8年度支部総会に出席できない方へ

平成8年度支部総会(平成8年6月の予定)に出席できない方は、『細氷』末頁の【平成8年度支部総会 委任状】に記名・捺印のうえ総会前日までに出席会員に渡されるか、直接支部事務局へお送り下さい。

(3) 学会への勧誘について

気象に関心をお持ちの方が身近におりましたら、気象学会への入会をお勧めして下さい。入会申込み書は支部事務局にあります。

年会費は、一般A会員は 6,900円、一般B会員は 12,600円、学生A会員は 4,200円、学生B会員は 8,100円です。

A会員には、気象学会機関誌『天気』のみ、B会員には『天気』と『気象集誌(英文論文)』が配布されます。

また、北海道支部発行の機関誌『細氷(研究発表会の要旨や解説等)』が無料配布され、更に学会が発行している『気象研究ノート』なども会員価格で購入できます。

(4) 平成7年度支部気象講演会の開催について

今年度の支部気象講演会は、平成7年10月27日(金)13時から釧路市で開催しますので、近郊の会員の方は、会費無料ですので多数お誘いのうえ参加願います。

2 編集後記

(1) 昨年度の支部気象講演会は、帯広市で開催しましたが、ご協力頂いた帯広測候所及び気象協会帯広支部の職員の皆様方に感謝申し上げます。

(2) 北海道支部と支部会員のつながりが緊密になるような親しみやすい機関誌にしたいと思いますので、掲載内容についてのご意見、アイデア等をお寄せ下さい。

(3) 本号のイラストは、前号に引き続き北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻の岩田総司さんの作品です。ご協力ありがとうございました。

(4) 本号の編集にあたり、寄稿者等の多くの方々にご無理申し上げご協力頂きましたこと感謝申し上げます。

(5) この通信欄は、支部会員同士の情報交換にもお使い頂けます。ご希望の方は原稿を支部事務局までお寄せ下さい。

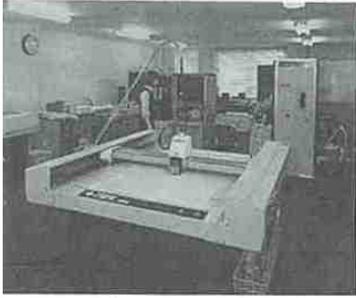
支部事務局：〒060 札幌市中央区北2条西18丁目
札幌管区气象台技術部調査課内
☎ 011-611-6121(内線415)
FAX 011-611-3206

--- ユーザーの立場になって身になって ---

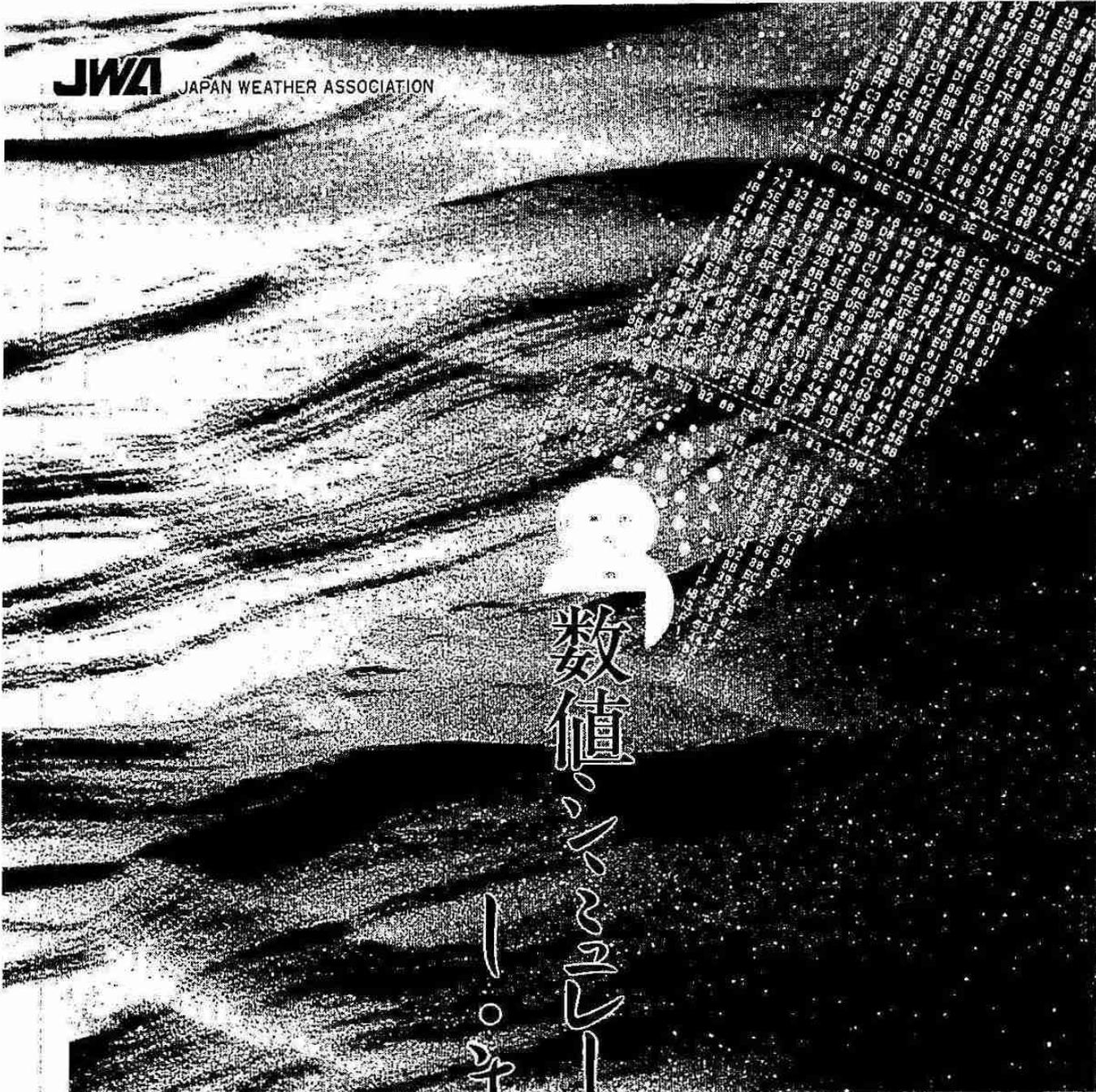
株式会社岩崎、ソフト開発エンジニアリング株式会社、岩崎メンテナンスサービス株式会社
販売から、機器設置、データ処理と一貫したシステムでお客様の御要望に御答え致します。

取扱商品

気象機器、テレメーターシステム、各種処理装置。

商 品 販 売 (株) 岩 崎 社員76人	機 器 設 置 及 び 保 守 点 検 岩崎メンテナンスサービス(株) 社員23人	デ ー タ 処 理 ソフト開発エンジニアリング(株) 社員12人
札幌 本社 札幌市東区北6条東2丁目 011-721-2531	札幌 本社 札幌市東区北6条東2丁目 011-721-2531	札幌 本社 札幌市東区北6条東2丁目 011-721-2531
東京出張所 東京都台東区東上野4-7-17 03-845-0481	札幌本社、旭川支店、 釧路出張所、網走営業所 常時在駐	 <p>データ処理及びソフト開発使用 設置機器</p>
旭川支店 旭川市流通団地2条5丁目 0166-48-1125		
釧路出張所 釧路市双葉町17番19号 0154-23-7488		納入実績
帯広出張所 帯広市西3条南1丁目 0155-23-6511		流量観測データ処理ソフト
函館出張所 函館市中島町31番19号 0138-55-0108		地殻変動データ処理ソフト
北見出張所 北見市美芳町6丁目3番7号 0157-24-2831		土壌水分データ処理ソフト
苫小牧出張所 苫小牧市矢代町1丁目2番地3号 0144-74-8171		温度分布データ処理ソフト
網走営業所 網走市緑町1番8号 0152-43-3530	設置作業例 設置、保守納入実績	総合気象データ処理ソフト
室蘭営業所 室蘭市東町1番8号 0143-43-6228	水位雨量観測施設保守業務	画像解析処理ソフト
稚内営業所 稚内市潮見3丁目 0162-32-2608	総合気象観測施設設置保守 (農業、ダム、消防、公害、道路)	
	ダム放流警報施設保守業務	
	太陽電池設置業務	
	テレメータ設置、保守	

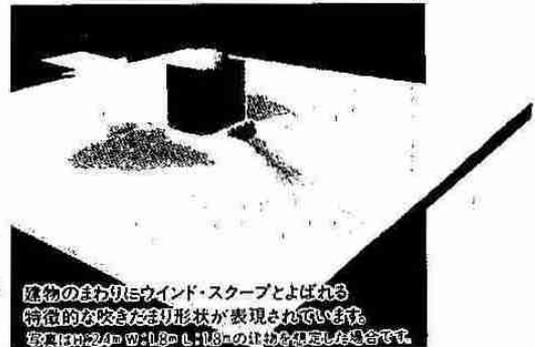
JWA JAPAN WEATHER ASSOCIATION



数値シミュレーション
—。ま。す

これまで風洞実験や水槽実験でし
かわからなかった吹雪や吹きだまり
の実体が、数値シミュレーションで、
明らかにすることが可能になりました。

吹雪の数値シミュレーションとは、ちっと聞き慣れない言葉だと思いますが、つまりは風洞実験でしか見ることができなかった吹きだまりなどの複雑な現象を、3次元の地形を計算に取り込むことにより、計算機の中で吹雪を再現することです。また、ビジュアル化することにより右の図のように、よりリアルな結果をお見せできるようになりました。



建物のまわりをウィンド・スクープとよばれる
特徴的な吹きだまり形状が表現されています。
写真13H×24W×1.8m L・1.8mの建物を用いた場合です。

※本図は縮小されています。

BLOWING SNOW SIMULATION

●お問い合わせは
財団法人日本気象協会 北海道本部
札幌市中央区北4条西23丁目260 ☎(011)621-2456

○ 全天候型測定データ記録装置

KADEC-Uシリーズ ○

全天候型測定データ記録装置KADEC-Uシリーズは、厳しい自然環境下（雨、雪、低温から高温）で使用可能なコンパクトでしかも高性能な測定データ記録装置です。

KADEC-U has no Limits in Operation in the Field under Various Weather Conditions from the Antarctic to Tropical Areas.

南極から砂漠までKADEC-Uはフィールドを選ばない！！

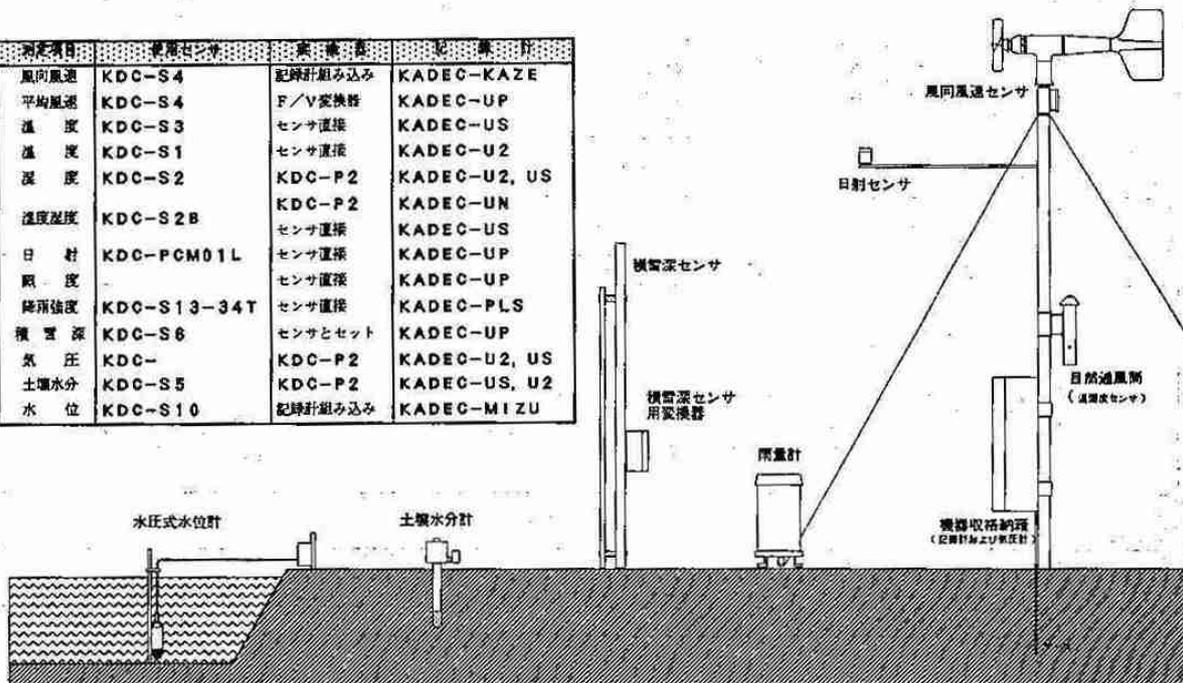
自南極至砂漠地帯KADEC-U装置不慮選場所地工作！！

南極부터 砂漠까지KADEC-U는 장소를 선택하지 않음 !!

- 設置条件を選ばずしかも長期無人測定を実現。
- 極めて低温に強く消費電力の少ないコンパクト設計。
- 変換器を通さずに各種センサーをダイレクト入力。
- 記録計の電池だけで7カ月間以上連続測定。(10分間隔測定)
- 低温から高温全域で仕様精度保証。(-25℃から+80℃の範囲)
- 記録した測定データは、パソコンで簡単に日報月報処理。



測定項目	標準センサ	実装品	記録計
風向風速	KDC-S4	記録計組み込み	KADEC-KAZE
平均風速	KDC-S4	F/V変換器	KADEC-UP
湿度	KDC-S3	センサ直接	KADEC-US
温度	KDC-S1	センサ直接	KADEC-U2
湿度	KDC-S2	KDC-P2	KADEC-U2, US
湿度湿度	KDC-S2B	KDC-P2	KADEC-UN
		センサ直接	KADEC-US
日射	KDC-PCM01L	センサ直接	KADEC-UP
照度		センサ直接	KADEC-UP
降雪強度	KDC-S13-34T	センサ直接	KADEC-PLS
積雪深	KDC-S6	センサとセット	KADEC-UP
気圧	KDC-	KDC-P2	KADEC-U2, US
土壌水分	KDC-S5	KDC-P2	KADEC-US, U2
水位	KDC-S10	記録計組み込み	KADEC-MIZU



上の図と表は、全天候型測定データ記録装置KADEC-Uシリーズのおもな用途例です。

コーナシステム株式会社 KONA system Co.,LTD

本社	〒004 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1丁目31番40号	TEL(011)897-8000	FAX(011)897-8001
開発部	〒004 札幌市厚別区厚別中央2条1丁目4-21 大吉ビル	TEL(011)894-6333	FAX(011)894-6335
札幌営業所	〒004 札幌市厚別区下野幌テクノパーク1丁目31番40号	TEL(011)897-8000	FAX(011)897-8001
東京営業所	〒171 東京都豊島区池袋2丁目5-13 合田ビル	TEL(03)3983-8297	FAX(03)3983-8298

超音波だからできる3次元風速成分の測定と ハイレスポンスでの温度測定…。

他方式の風速計では困難であった

ハイレスポンスでの風のベクトルの測定と温度変動の測定を可能にした超音波風速温度計が

マイクロプロセッサ搭載により高機能化が図られて誕生しました。

世界初の超音波風速温度計の実用機を開発して20余年、

国内はもとより世界各国に納入実績を誇る「KAIJO SONIC」のノウハウを

随所に取り入れた自信作です。

■DA-600シリーズ仕様

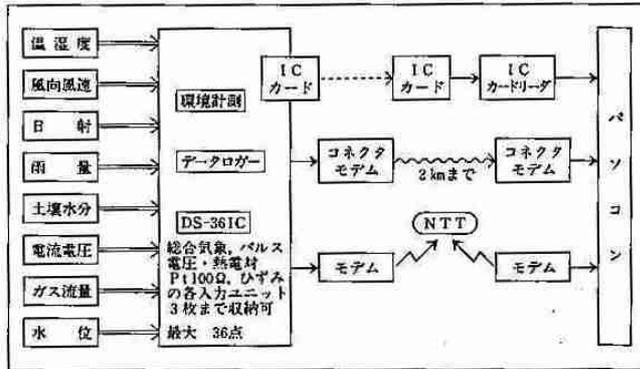
		超音波風速計	超音波温度計
測定方式	時分割送受切換型超音波パルス法		
演算方式	超音波伝搬時間逆数差演算方式	超音波伝搬時間逆数和演算方式	
測定範囲	小型プローブ型：0～20m/s(5cmスパン) 小型プローブ型：0～30m/s(10cmスパン) 標準プローブ型：0～30m/s(20cmスパン) 強風プローブ型：0～60m/s(20cmスパン)	温度：-10℃～+40℃ 使用範囲外の場合はご相談下さい	
演算精度	1%	1%(注1)	
分解能	0.005m/s	0.025℃	
測定繰返し	20回/秒		
平均化時間	30秒～600秒(30秒きざみで設定可)		
出力信号	OUT-1	成分風速：0～±1V/0～±10m/s max±10V	温度：0～±1V/0～±50℃
	OUT-2	成分風速：0～±1V/F.S 風速：0～1V/F.S 風向：0～1V/F.S フルスケール 成分風速：0～±1、±2、±5、±10、±15、±20、±30、±60m/s 風速：0～1、2、5、10、15、20、30、60m/s 風向：0～540°	温度：0～±1V/F.S 変動温度：0～±1V/F.S フルスケール 温度：0～±50℃ 変動温度：中心温度より±5℃、±10℃の切換方式 中心温度は手動設定
	デジタルRS-232C	ASCIIコード。符号付5桁	
LCD表示	成分風速、風速、風向	温度、変動温度	
使用環境	本体：-10℃～+40℃ 0～80%RH プローブ、接続箱：-20℃～+50℃ 0～100%RH		
電源	AC 100/115/220V ±10% 50/60Hz		

株式会社 カイジョー

3電源

ICメモリカード式データロガ

DS-36IC



用途

- ・農地・森林等の気象観測
- ・住宅・ビルの住環境の計測
- ・冷凍・空調システムの計測
- ・ビニールハウス内環境計測
- ・生鮮食料品の輸送環境計測
- ・コンベアライン上の製品の品質管理
- ・電力・ガス等のエネルギー消費量の測定
- ・ロードヒーティングの温度・エネルギー計測



特長

- ・ICメモリカードの採用によりデータ回収が容易
- ・オンライン計測（2 kmまで）モデム計測も可
- ・内蔵リチウム電池のみで1年間使用可
- ・電圧・熱電対(12点), Pt100Ω(8点), パルス(8点), ひずみ(6点), 総合気象(11点)の各入力ユニットを3枚まで混在・収納可
- ・積算機能・ヒートアップ機能有
- ・対話型データ集録処理ソフト(ロータス変換機能有)を用意しました

姉妹品

- ・1・2チャンネル電池式データメモリ DS-64K1・K2
- ・各社データロガ対応データロガ処理ソフト KNS-98
- ・同上用モデム対応処理ソフト KNS-98COM

●開発・販売元
コンピュータの夢・未来を創造する

コーナール札幌株式会社

営業・技術部 〒003 札幌市白石区南郷通2丁目北1-29
☎(011)863-1911・FAX(011)864-1313

東京出張所 〒113 東京都文京区本郷2丁目10-9
☎(03)3815-3801 富士ビル2F

測 戦 力

弊社は様々な環境に適応したデータログ等の機器及びソフトウェアの開発を軸にトータルシステムをめざし、お客様のニーズに確実な技術力をもってお応えします

気象関連での主な実績

- ◆ 南極での気温、雪温、風向、風速、気圧等の無人気象観測システム
- ◆ 雪崩予測及び観測システム
- ◆ 流水領域海洋気象観測システム
- ◆ 鉄塔動態観測システム

現在開発中の主な製品

- ◇ 氷河流動観測システム (GPSデータログシステム)
- ◇ ケーブル・センサを応用した災害予知及び警報システム
- ◇ 視界不良時における超音波式衝突防止装置



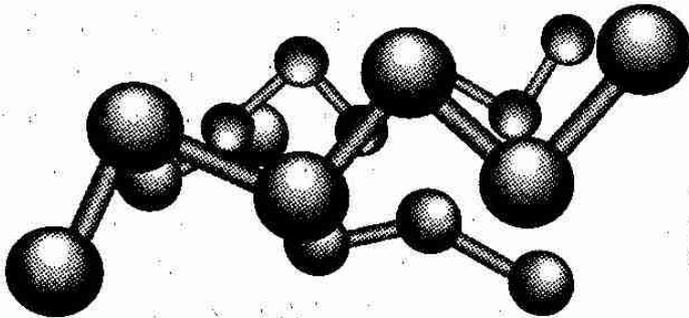
北海道電子機器株式会社

〒001 札幌市北区北28条西12丁目4-17

TEL 011(747)6555 (代)

FAX 011(747)6388

東京事務所 TEL/FAX 0424(83)3677



施設から機器まで 科学研究の 総合プランナー

《主要取扱商社・商品》

- チノー ハイブリット記録計、制御機器
- オリンパス 顕微鏡、工業用ファイバースコープ
- 柳本制作所 ヤナコ各種分析機器
- 日本ゼネラル ケルテック、ファイバートック、
近赤外装置
- 英弘精機 ハーケ恒温槽、気象機器
- 三洋電気メデカシステム プレハブ低温室、
超低温フリーザー
- ザルトリウス 電子天秤、メンブレンフィルター
- 東芝エレテック 徳田各種真空機器
- 日本電子 電顕・NMR・ガスマス
- ダルトン 各種実験台、ドラフトチャンバー
- 自社製品 受精卵凍結装置、牛分娩予告装置、
土壌採土器、CEC自動抽出器

北海道地区特約代理店



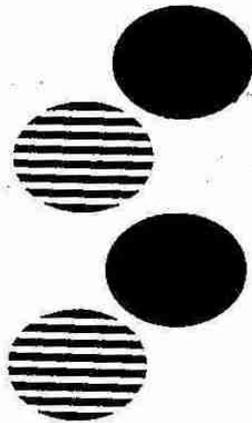
フジヤ矢野科学株式会社

札幌市東区北6条東2丁目8番地(札幌総合卸センター2号館)

TEL 代表 (011) 741-1511

FAX 専用 (011) 753-0265

私たちにおまかせください



●高速印刷センターでは、市町村史、記念誌、論文、研究紀要、社史、自費出版など、本に関する、すべてのご相談に応じております。お気軽にお電話下さい。

●ワードプロセッサおよびパソコンのコード変換についてのご相談も、専門の技術者がうけたまわっております。お気軽にお問合せ下さい。

協業組合 高速印刷センター

本社／札幌市手稲区曙2条5丁目2-48(手稲工業団地)
☎ 代表(011)683-2231・FAX:(011)682-0583

海洋気象衛星「ノア」HRPT (AVHRR) 直接受信システム

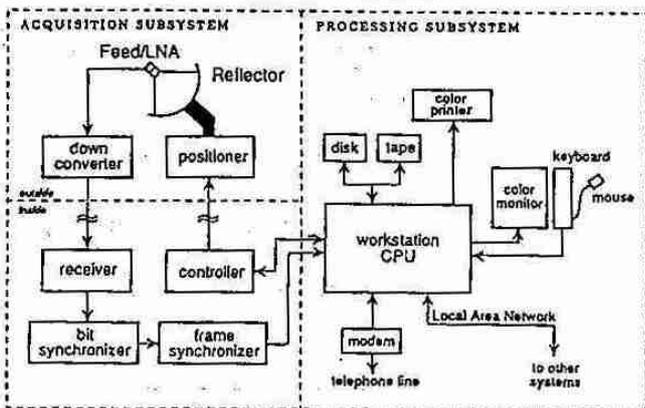
この度、米国シースペース社と販売協力提携をし同社製テラスキャンシステムの販売を行っておりますので、ご案内申し上げます。テラスキャンシステム (Tera Scan System) は、ノアHRPT画像 (分解能1.1km)、大気観測センサー (TOVS/HIRS・MSU・SSU) のデータを受信、解析処理するシステムであり、シースペース社の豊富な経験と実績を基に開発された製品で、コストパフォーマンスに優れたシステムであります。

このシステムは、米国スクリプス海洋研究所、南極マクマード基地を始め世界中の研究機関、大学等で稼働しております。弊社は、ノア (APT) 受信解析システム、ひまわり (WEFAX) 受信解析システム、衛星画像解析システム (ランドサット (TM)/MSS, MOS-1, NOAA HRPT/APT, 他) の販売と合わせて、テラスキャンシステムの販売、保守を開始いたしました。なお、ひまわりS-VISSR受信システムの販売も 行っております。

- ノア HRRT (AVHRR) 受信システム (陸上用・船載用)
- ノア APT 受信システム (陸上用・船載用)
- ひまわり WEFAX 受信システム
- ひまわり S-VISSR 受信システム (近日中発売)
- 衛星画像解析ソフトウェア (ランドサット・ノア・MOS-1他)
- マイクロデータロガー

- 気象用レーダ画像処理システム
- 漁場管理処理システム
- 漁場管理レーダ画像伝送システム
- 無線FAX伝送装置 (中短波・短波・VHF他)
- パソコン通信ソフトウェア
- その他関連製品

TERASCAN
HRPT ANTENNA SERVER
SYSTEM DIAGRAM



M/E 日本船用エレクトロニクス株式会社

〒221 横浜市神奈川区東神奈川2-41-1 (洋光ビル)
TEL (045)453-6911(代) TLX J3823778.OKEYJ J

営業所

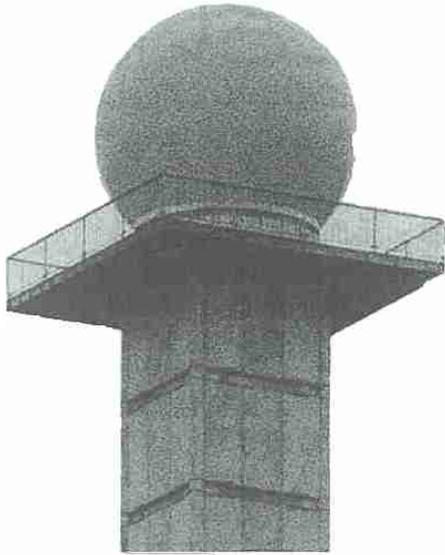
- 札幌 〒060 札幌市西区二十四軒4条7丁目5番25号 電話(011)614-1612 FAX(011)614-1613
- 八戸 〒031 八戸市大字坂町字日ノ出町12-8 電話(0178)33-4136
- 神戸 〒651 神戸市中央区磯部通4-2-20(神戸ビル) 電話(078)291-0561 FAX(078)291-0563
- 呉 〒737 呉市 湊 船 町 4 - 2 電話(0823)23-3976
- 高松 〒760 高松市西内町3-7(森ビル) 電話(0878)21-7195 FAX(0878)21-7196
- 下関 〒750 下関市大和町1-16-4(漁港ビル西館6号) 電話(0832)66-5225 FAX(0832)66-5226
- 長崎 〒850 長崎市筑後町4-7(大久保ビル別館) 電話(0958)26-7318

気象観測に貢献する

JRC 日本無線株式会社

営業品目

気象用レーダー	気象衛星受画装置
雨量・水位テレメーター	気象FAX
衛星通信システム	画像伝送システム



本社事務所

〒107 東京都港区赤坂2丁目17番22号赤坂ツインタワー本館 TEL (03)3584-8744

北海道支社

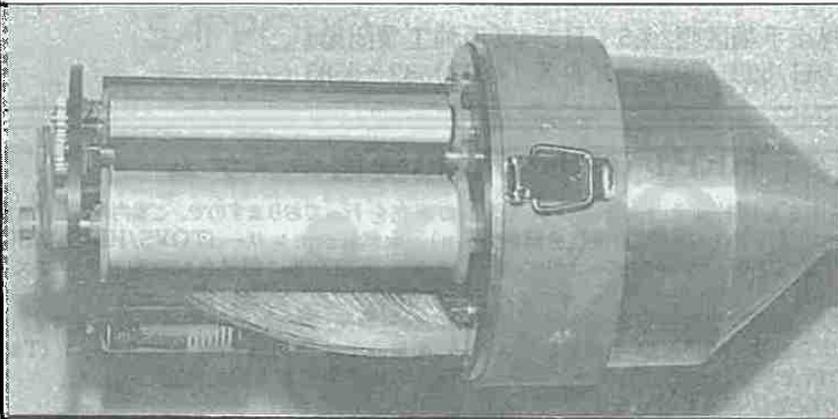
FAX(03)3584-8891

〒060 札幌市中央区北3条西7丁目北海道水産ビル

TEL (011)261-8321

FAX(011)261-3879

SNOW DEPTH RECORDER



長期積雪深記録計

SK-102型 SK-104型

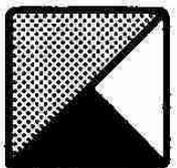
本装置は、無電源地域（例えば山岳地帯や他の任意の場所）における積雪深を長期間にわたって連続測定をするために開発された記録装置です。積雪地域の水資源に関する基礎調査や環境調査、山地の気象調査などに際して、任意の場所における積雪深の記録を得ることができます。

総発売元 株式会社 **コンドウサイエンス**

〒064 札幌市中央区南16条西 5丁目

TEL 011 (521) 6132, FAX 011 (511) 0304

北海道知事許可（石第2633）電気通信工事業・機械器具設置業



株式会社

光映堂 教育産業部

C&AV
KOEIDO

■本社 札幌市中央区大通西4丁目6番地

☎(011)261-0101 FAX 231-1233

■教育産業部 中央区南1条西16丁目みつわビル ☎(011)643-1010 FAX 641-2247



建設業許可(電気通信)般一石2725
無線有線通信設備設計・施工
松下通信工業株式会社代行店

東邦通信株式会社

〒062 本社 札幌市豊平区平岸3条7丁目
電話 札幌 (011)811-9441(代表)
FAX (011)823-6006

本づくりの 応援します

- 研究紀要
- 要覧
- 市町村史
- PR誌
- 文集
- 単行本
- 新聞
- 自費出版
- 社史
- 名簿・会報



協業組

高速印刷センター

KOUSOKU PRINTING CENTER

札幌市手稲区曙2条5丁目2番48号・手稲工業団地
電話 011-683-2231代

**日本気象学会北海道支部
研究発表会申込み方法及び原稿作成要領**

1 申込みの方法及び期限

(1) 申込み方法

申込み希望の方は、申込み期限までに発表題目・氏名（共同発表の場合は、発表者に○印）・使用機器（スライド・OHPの使用有無）を事務局まで連絡すること。

(2) 申込み期限

第1回研究発表会（5月20日必着）、第2回研究発表会（10月20日必着）。

2 研究発表会原稿作成要領及び提出先

(1) 原稿用紙

B4版（縦長・横書）に上下左右のマージンを1cm、1行の文字数を全角で40文字、ページ50文字（2,000字詰）の原稿用紙2枚を使用する。この原稿用紙に書かれたものをそのまま写真でB5版の大きさに縮小して機関誌に印刷する。

このため執筆者が書いた文字・図表はそのままの姿で印刷され、原稿用紙1枚が1頁となる。この原稿用紙をB5版に縮小する割合は0.68なので、従って、図表もこの比率で縮小されるので注意すること。

(2) 原稿の記入

原稿の体裁を統一する必要から、最初の行の中央に標題（本文より大きい文字を書き、長い場合は2行にわたっても差し支えない。）、1行あけて3行目の右側に氏名と（所属）を書く。（連名者が多い場合は、次の行にわたっても良い。）

本文は章だてとし、本文が7行目あたりから始まるように記入する。原稿は1編を原稿用紙2枚に書き、なるべく余白を出さないように留意すること。文字・図表などは、すべて黒インクで明確に記入する。（ボールペンは不可）本文の文字はます目一杯の大きさに記入する。（和文タイプやワープロによる印字を希望します。）

タイプやワープロの場合は、ます目や行にとらわれなくと良く、同じ大きさの白紙に打っても良い。提出された原稿は編集印刷の際、用語・文字などの訂正が難しいので、原稿作成に当たっては十分に注意すること。読み難い原稿は書き直しをお願いすることもあります。

(3) 図 表

図表はその大きさや、図表中の文字・数字の大きさ等について縮小の比率(0.68)を十分に考慮し、印刷したものが見苦しくならないように作成する。原稿用紙に直接図表を記入するか、図表を貼付る。グラフ用紙を使用する場合は、罫線が濃いものを使用しない。図表には標題と説明文も付加する。

(4) 提 出 先

原稿は必ず研究発表会当日会場へ持参し、支部事務局員に提出する。

原稿に使用した図や写真の返却を必要とする場合は、その旨お伝え下さい。

— 細 氷 No.41 —

平成7年9月25日 印刷
平成7年9月30日 発行

編 集 日本気象学会北海道支部
発 行 編集委員 生 本 武
〒060 札幌市中央区北2条西18丁目
札幌管区气象台調査課内
Tel (011)611-6121内線415

印刷所 高 速 印 刷 セ ン タ ー
〒006 札幌市手稲区曙2条5丁目
Tel (011)683-2231