

4. 気候とその変動、異常気象

北海道大学大学院地球環境科学研究科 松野太郎

はじめに

今冬は、札幌で記録的積雪があつて除雪能力を超え、交通障害に悩まされた。全国的に見ても9年続きの暖冬の後に久しぶりに平年並みの寒さになったため、寒冬との印象が強かった。一方、夏の方は、昨年1995年は、北日本を除き、暑い夏であちこちで水不足が報じられた。

前年、1994年の夏は、さらに暑く、北海道を含め全国が猛暑に見舞われ、各地で高温記録がぬりかえられた。ところが、その前の1993年は、逆に全国的な冷夏で、低温・多雨・日照不足が一夏中つづき、稀にみる「梅雨の明けない夏」となった。

このような年々による気候の変化はなぜ、どのようにして生じるのだろうか。毎日の天気予報と同じように、毎年の気候の変動を予報できないものだそうか。これは、現在の気象学の最大の課題であり、世界中で研究が進められている。また、「気象」ではなく、「気候」の予測に必要となるであろう新しい新しい観測網を作る構想が進められ、その一環として、世界最初の総合的地球観測衛星ADEOSが8月17日に打ち上げられる予定である。

今、気候研究が世界的に重要課題となっている理由は、単に自然の気候変動を予測しようというだけではない。もう一つの更に重要な目的は、二酸化炭素(CO_2)など温室効果ガスの放出によって起こると予想される「地球温暖化」の実態

を明らかにすること、温暖化とともに生じる地球規模の気候変化を予測することである。

このような枠組についての研究の現状を簡単に紹介したい。

1. 気候のゆらぎと異常気象

先に記した暑夏、冷夏、暖冬、多雪など、異常気象と呼ばれる気象状態が近年増えて来ているように思われるが、本当にそうだろうか。異常気象が現われるのは地球がどこかおかしくなっているためであろうか。

毎日の気象が変化するように、気象を長期間平均した気候も毎年同じではない。さまざまな時間スケールで変動している。図1は北日本の夏と冬の平均気温が年々どのように変動しているかを示したものである。気象庁では、月平均気温が30年に1回しか現れていない程に平均からずれた高(低)温を異常高(低)温と呼んでいるが、気候が常にゆらいでいる以上、30年に1回の高温、低温が、その程度の頻度で現れているのが当然であり、決して異常ではない。異常気象というネーミングが誤解を生んでいるかもしれないが、「異常」を「正常」の反対、つまりあるべき姿から外れているとるべきではなく、むしろ「平常でない気象(めったに起こらない気象)」を意味すると考えるのが適当である。

自然が勝手にゆらいでいる結果で、決して

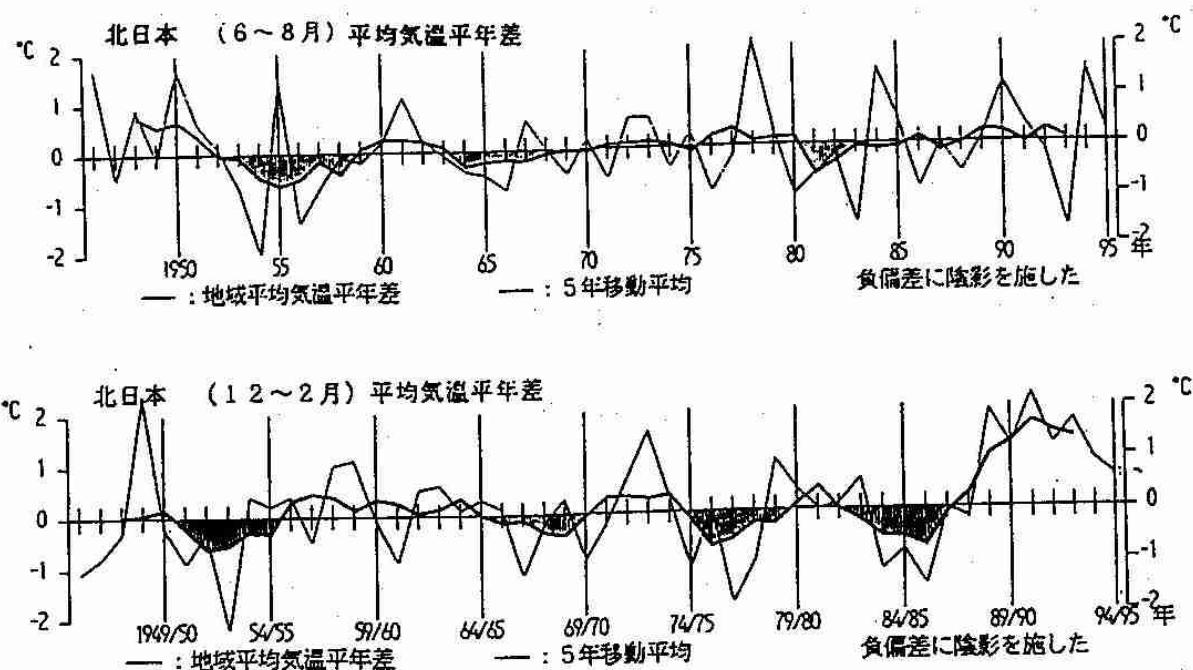


図1 北日本の夏(6~8月)と冬(12~2月)の平均気温の年々の変化。

不自然ではないと言っても、今冬の札幌の多雪のように、めったに起こらない気象に遭遇すれば、人間の生活や産業は大きな影響を受け、正常ではなくなる。近年、異常気象が増加していると感じられるのは、自然のせいよりも、人間社会の側が気候のゆらぎに対して敏感になって来たからと思われる。産業発展や都市化の進行によって、人間活動が平常の気候の範囲で目いっぱいに展開されるようになり、その結果、30年に1回程度の平常からずれた気候に対して社会が脆弱になっていると考えられる。それ故、異常気象の発現が事前に予測されれば、対応策をとって被害を軽減できると思われ、気候変動予測が可能になればその意義は大きい。

一方、地球温暖化のような人間活動の影響によって地球が本当におかしくなり（自然状態からずれ）、近年、異常気象が多発しているのではないか、との疑問が残る。確かにその可能性は全く無くはないが、少なくともこれまで自然のゆらぎの範囲からそんなに外れてはいない。図2は全世界について各10年代

ごとの異常高温、異常低温の出現回数を示したものであるが、両者の計は近年増加しているとは見えない。しかし、高温・低温に分けてみると1980年代は異常高温が多く低温が少なくなっているが、これは最近の地球規模での高温傾向の現れで、その原因は自然の変動に加え、温室効果ガスの増加も関係していると思われる。

2. 気候の年々変動の原因—1993年冷夏の場合

図1からわかるように、気候のゆらぎの中で寒暖のくり返し間隔が2~5年程度の短期の変動が最も顕著である。（なお、最近の十数年変動の幅が大きくなっているが、それが近年の極端な暑夏・冷夏の出現に対応しているわけだが、全期間を通してみると、変動幅の増大は最近の十数年だけでなく、過去にもあり、最近が異常だとは簡単には言えない。）この短期の気候のゆらぎを起こす原因として考えられるものの中で、熱帯太平洋で起こるエルニーニョ現象が最大のものとして注目されている。

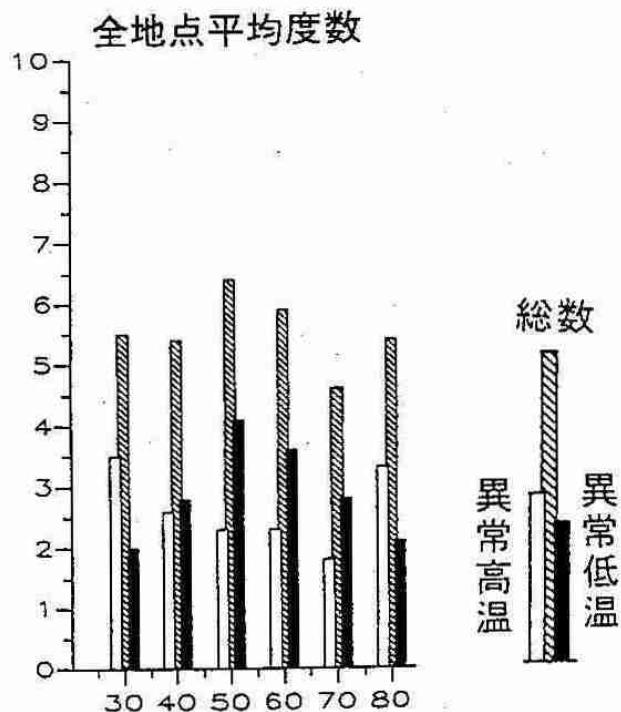


図2 各10年代ごとの世界全体の異常高温・異常低温の出現頻度(%)。30は1930年代、80は1980年代を示す。

日本の夏の気候を支配するものは太平洋高気圧である。太平洋高気圧は、一般に亜熱帯高気圧とよばれる地球全体を取り巻く高圧帶の一部である。地球上の気候は、大かまに言うと赤道多雨帯とその両側に存在する亜熱帯高気圧から成る熱帯的気候と、その高緯度側にある南北に気温変化が大きく、上空に西よ

りの風が吹いている偏西風帯との2つに分けられる。偏西風帯では、南北の温度差によって温帯低気圧が生まれ、それが偏西風に乗って西から東へ移動することによって天気が変わる。日本は、夏を除いては偏西風帯の中にいるが、亜熱帯高気圧の北上する夏季はその支配下に入り、特に西南日本では7月8月は暑く晴れた日が続く。しかし、亜熱帯高気圧の北縁にあたる東北日本では、高気圧の位置・強弱によって必ずしも支配下には入らず、一夏の中で時折偏西風が南下して冷気を送り込んだり、また年による高気圧の強弱によって暑い夏になったり、冷気の入りやすい涼しい夏になったりする。つまり高気圧の位置・強弱が日本の夏の気候の鍵を握っている。

亜熱帯高圧帯のうち西太平洋の部分にある太平洋高気圧は、赤道近くの西太平洋にある地球上最高温の海水から蒸発する水蒸気によって発生し維持される対流雲（積乱雲）集団の力学的效果（対流雲中の上昇気流と対をなす下降気流）で作られている。ところが、この暖水プールは、2～5年に1回の割合で赤道沿いに東へ広がり、それに伴ってその上の大気中の対流雲集団も東へ移動する。これがエルニーニョ現象と呼ばれるものである（図

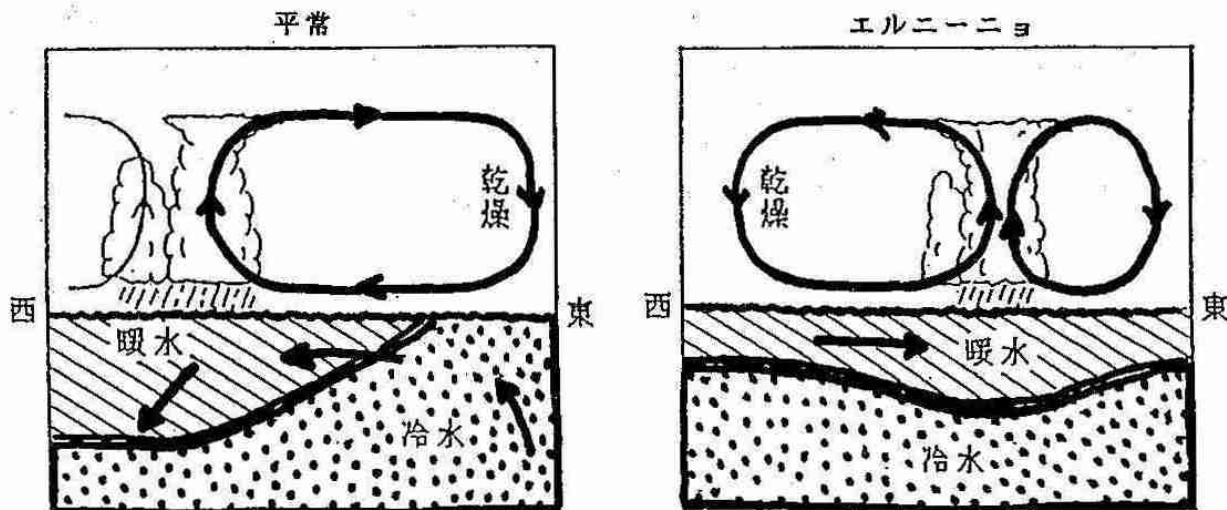


図3 平常時(左)とエルニーニョ時(右)の太平洋の東西断面

3)。エルニーニョ現象が起ると西太平洋の対流雲集団は東に移動し、それに伴って太平洋高気圧を南東にずれる。このような時には、高気圧の中心が日本から遠ざかるため、日本、特に東北日本には冷気が入りやすく、冷夏となる。西南日本でも梅雨前線の北上が遅れるため7月末でも梅雨が明けず、そのため集中豪雨に見舞われたりする。1957年の諫早豪雨、1982年の長崎集中豪雨、そして1993年の鹿児島の豪雨は、ともにエルニーニョの起った年に発生した。

1993年には、1991年以来のエルニーニョ現象が92年に一たん弱まったのに再び現れ、これに伴って太平洋高気圧は南東に少し偏っていた(図4)。このことが冷夏の原因の一つと考えられる。(1991年のエルニーニョの際も冷夏であり、これは長期予報でも考慮され予想通りになった。)しかし、1993年の冷夏は高気圧の偏位だけで説明されるものではない。この時のもう一つの特色は、南下した偏西風ジェットが日本南岸に停滞したままであったことだが、それに対応する現象としてシベリア東部の上空に現れ、ほとんど夏中存在し続いたブロッキング現象がある。すなわち、偏西風の中心軸(ジェット)が東アジア域で2本に分かれ、北側の分岐はシベリア東部上で大きく蛇行し、その状態がいつまでも続いた(図4)。そして、北側の流れがうねっている沿海州上空に「ブロッキング高気圧」が作られ、地上ではその東側のオホーツク海にこれに対応する高気圧が生じ、一夏中継続した。ブロッキング現象とは、このような偏西風の特殊な流れ方を指し、他の季節、他の場所でも現れる。そこで、偏西風の流れ方として、1本の真直に近い流れとともに分流し蛇行する形態も安定な流れ方として存在し、一度この流れ方になるとそれが長続きするのだ、と考えられている。しかし、その機構は未だよくわかつていない。

結局、1993年の冷夏は、エルニーニョ現象のため偏西風が南に偏位しやすい状態にあったこと、その上、偏西風自体の自己運動としてブロッキングを生じ、オホーツク海高気圧が生まれ、ジェットの南側の分岐が日本南岸に停滞し続けた、という解釈になるが、これで充分とは言えない。北日本の低温については、中緯度の海面水温が低く、ブロッキング現象の一環として生じるオホーツク海高気圧を強める傾向にあった事、東北日本近海での海水の低温が吹き付ける北東風(やませ)の温度を一度と低くしたことも重なっていたと考えられる。

3. さまざまな気候変動要因—「気候システム」

エルニーニョ現象は、普通、赤道近くの西太平洋に溜まっている高温水が時折り東方へ広がる現象であることを説明した。しかし、これは海洋だけで独立して起こるものではない。高温水が東へ移ると、その上の大気中に生じている対流雲集団も東へ動き、そこへ向けて西側から吹き込む風が高温海水の東への広がりを助ける。このような大気中の現象に結びついて、熱帯域太平洋では東西の気圧配置が2~5年の周期で振動することが古く19世紀から知られており「南方振動」と呼ばれていた。結局、エルニーニョと南方振動は、実体は一つで、その海洋大気に写し出された2つの姿をみていたわけである。この事を最初に指摘したのは、19才で温帯低気圧モデルを作ったノルウェーの気象学者、J.ビヤクネスで、1966年のことである。その後、1972年に起こったエルニーニョの研究から、赤道では風の変化が短期間(1年程度)に大規模な海洋変動を引き起こしえることが海洋物理者によって明らかにされ、1980年代に入って、エルニーニョと南方振動が一つのものの2つの姿という事が確立した。さらに、このような視点、すなわち気候変動を、その直接の表

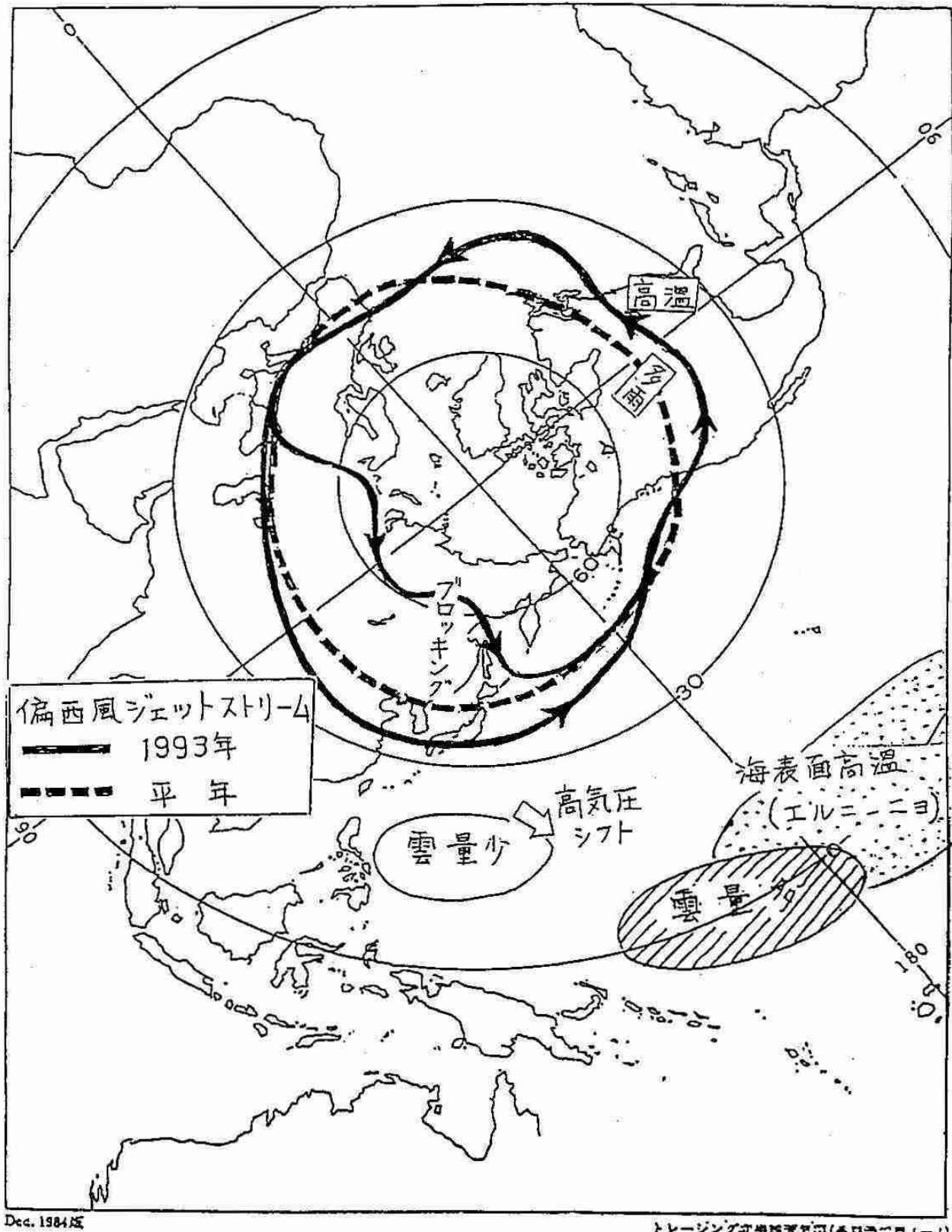


図4 1993年の冷夏時の大気循環の特色

われである大気の現象としてのみ把えるのではなく、海洋など大気以外の要因との結びつきを考えることの重要性が認識されるようになった。

気候は、気温、降水など大気現象の平均状態であるが、そのゆっくりした変動は大気だけでは起こらない。というのは、大気は全質量が小さく力学的・熱的慣性が小さいので、「記憶時間」が30日程度と短かく、例えば暖冬型といった特徴を持った流れや気圧配置が大気だけで長期間継続することはない。これに対して、海面水温の変動や大陸上の積雪面、土壤水分量などは100日あるいはそれ以上の持続性があるので、その影響を受けた大気の流れや気圧配置の特徴は長期間継続できる。一方、海水温、積雪などは大気の現象によって影響され変化する。結局、大気は海洋、陸地面、雪氷と相互に影響を与えながら変動しており、どちらが原因どちらが結果と言えない。つまり一つのシステムを作つて変動している。これを「気候システム」と呼ぶようになった。

図5は、夏季のインドモンスーンの雨量の年ごとの変化と、熱帯域西太平洋の海水温の変化を示したもので、明らかに両者は同一値向の変動をしている。海水温の変動のかなりの部分はエルニーニョとその反対のラニーニ

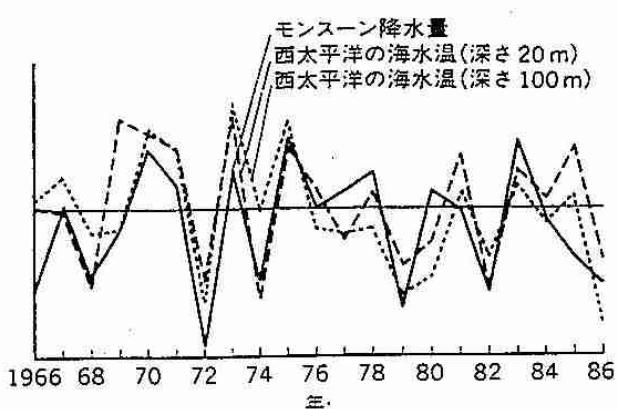


図5 インドモンスーンの降水量と、西部熱帯太平洋の翌年1月の海水温の年々の変動。平均からの偏差で表わす。

ヤの発現に結びついているので、これは、インドモンスーンの雨量がエルニーニョに影響されている(エルニーニョのとき少なくなる)ことを示している。一方、同じモンスーン雨量の年々の経過を、前の春におけるユーラシア大陸上の積雪と並べてみると図6のようになり、両者は逆向き変対化をしている。(春の積雪面が広いとモンスーンの雨量は少ない。)このように、インドモンスーンの雨量は太平洋の水温とユーラシア大陸上の積雪の影響を受けており、結局、3者は相互に影響を及ぼし合う結合したシステムを作つてていると考えられる。

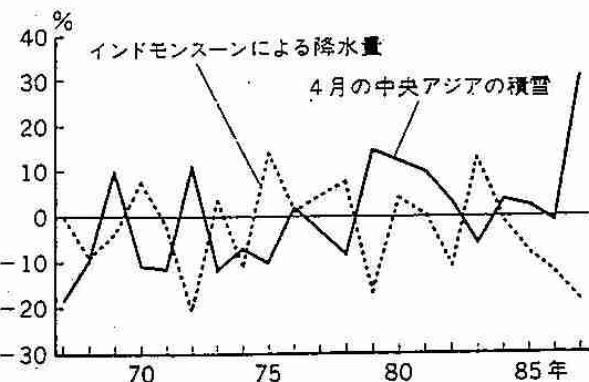


図6 ユーラシア大陸(中央アジア)の4月の積雪面積と夏のインドモンスーン降水量の年々変動。平均値からの偏差(%)で示す。積雪面積は人口衛星からの観測データ。

もうひとつ最近関心を集めている気候変動の例を示そう。図7は、全地球平均地上気温の過去110年間の経過である。1年ごとの平均

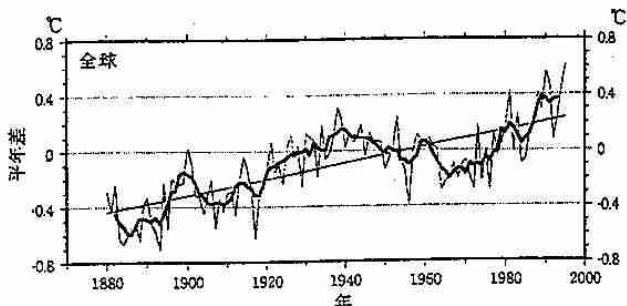


図7 過去110年間の全地球平均地上気温の変化

気温が大きく上下にゆれているのは、エルニーニョ・南方振動を中心とした短期の変動(中には火山噴火の影響もある)に結びついたものと解釈されるが、前後各2年をあわせた5年間の平均(太線)をみると、数10年でゆっくりと上下に変動している。この原因・機構は未だわからないが、少なくとも最近20年間の変動の模様を見ると、太平洋の熱帯域と中・高度域でプラス・マイナスが逆になった海水温偏差と結びついた大気の変動があるようだ。そして、このように長期にわたる変動の担い手となり得る長い記憶時間を持つものとして、全太平洋上の風によって駆動される深さ500mに及ぶ3次元構造を持つ海洋循環が有力な候補と考えられている。

4. 地球温暖化

図7を見ると、これまで触れた短期・長期2種類の変動に加え、100年間を通じ全体として上昇トレンドがあることが読みとれる。これは、二酸化炭素(CO_2)をはじめとする温室効果ガスの増加(石油・石炭の燃焼が主な原因)による「地球温暖化」が姿を現わし始めたものと解釈される。実際に観測されている CO_2 濃度、他のガスの濃度の変化をもとに理論的に計算した結果は、海洋による緩衝効果も考えに入れれば、ほぼ観測値(100年間に 0.5°C 程)に合っている。そこで、将来、特に対策を講じないで経済発展のままに CO_2 放出を続けたとして濃度増加を仮定し、それによって起くる全地球平均気温の変化を理論的に(コンピューター・モデルも使って)計算してみると21世紀末までに $2^\circ\text{C} \sim 2.5^\circ\text{C}$ の気温上昇が起ると推定され、それに伴う急速な気候変化がマイナスの影響をもたらす事が心配されている。