

4. 宇宙の雪と塵

北海道大学低温科学研究所 山本哲生

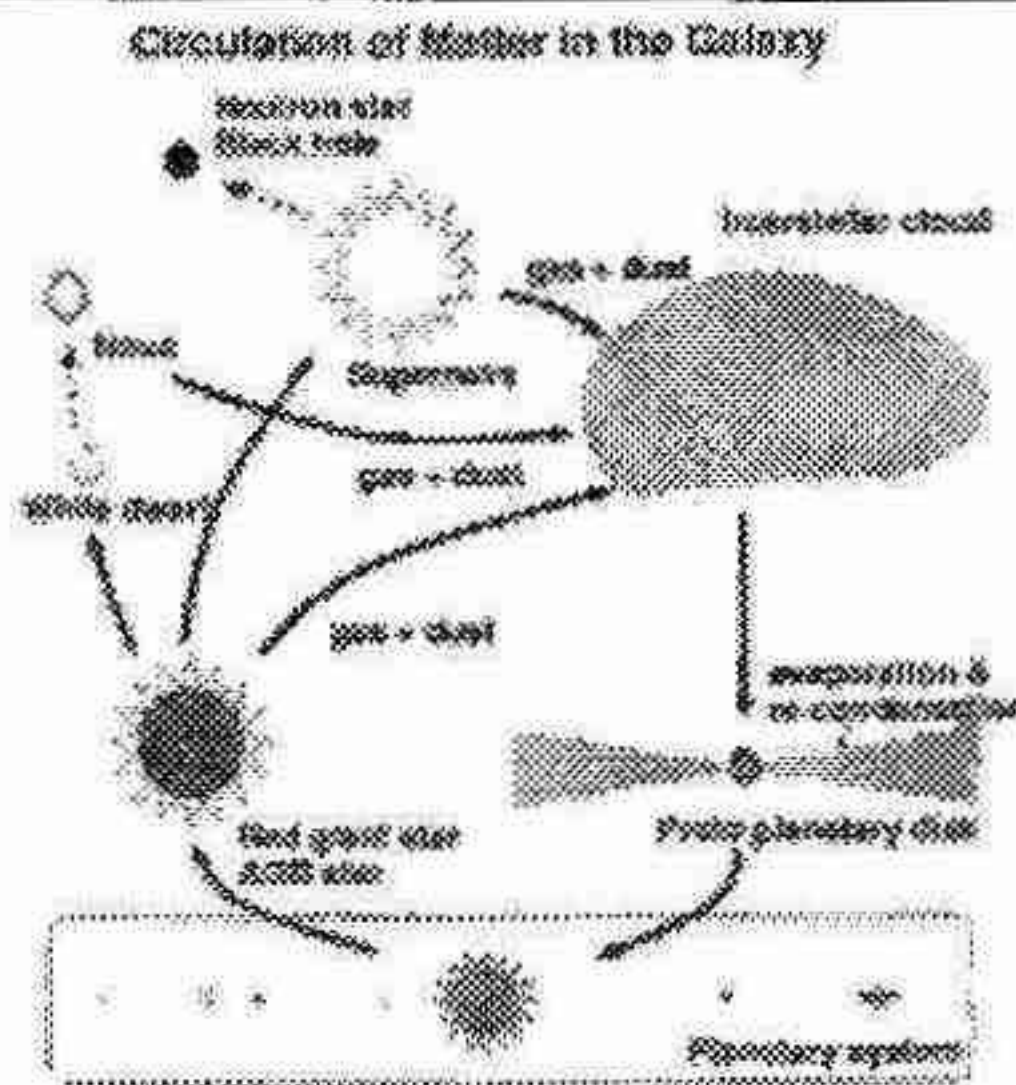
宇宙の氷とダスト 北大低温研・山本哲生

- 宇宙における物質進化
- 原子 → ダスト → 惑星 → 生命
- 系外惑星系の発見
- 木星型惑星
- 第2の地球
- 宇宙生命

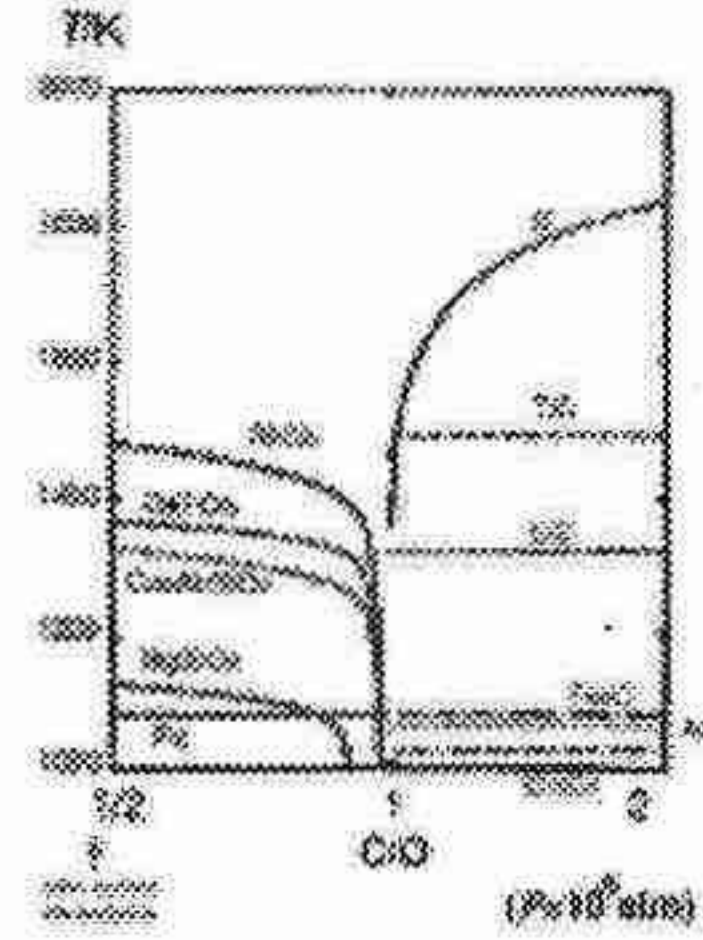
主な元素の化学的性質

	揮発度	相*	結合の種類	存在比
H	超揮発性	気体	水素, van der Waals	10 ¹⁰
He				
C	揮発性	気体	化学	10 ⁷
N		氷		
O		やや揮発性		
Mg	難揮発性	岩石質	化学	10 ⁶
Si				
Fe	難揮発性	金属	化学	10 ⁶
Ni		酸化物, 硫化物		

*) 低圧, 温度 = 10 ~ 1000 K での相

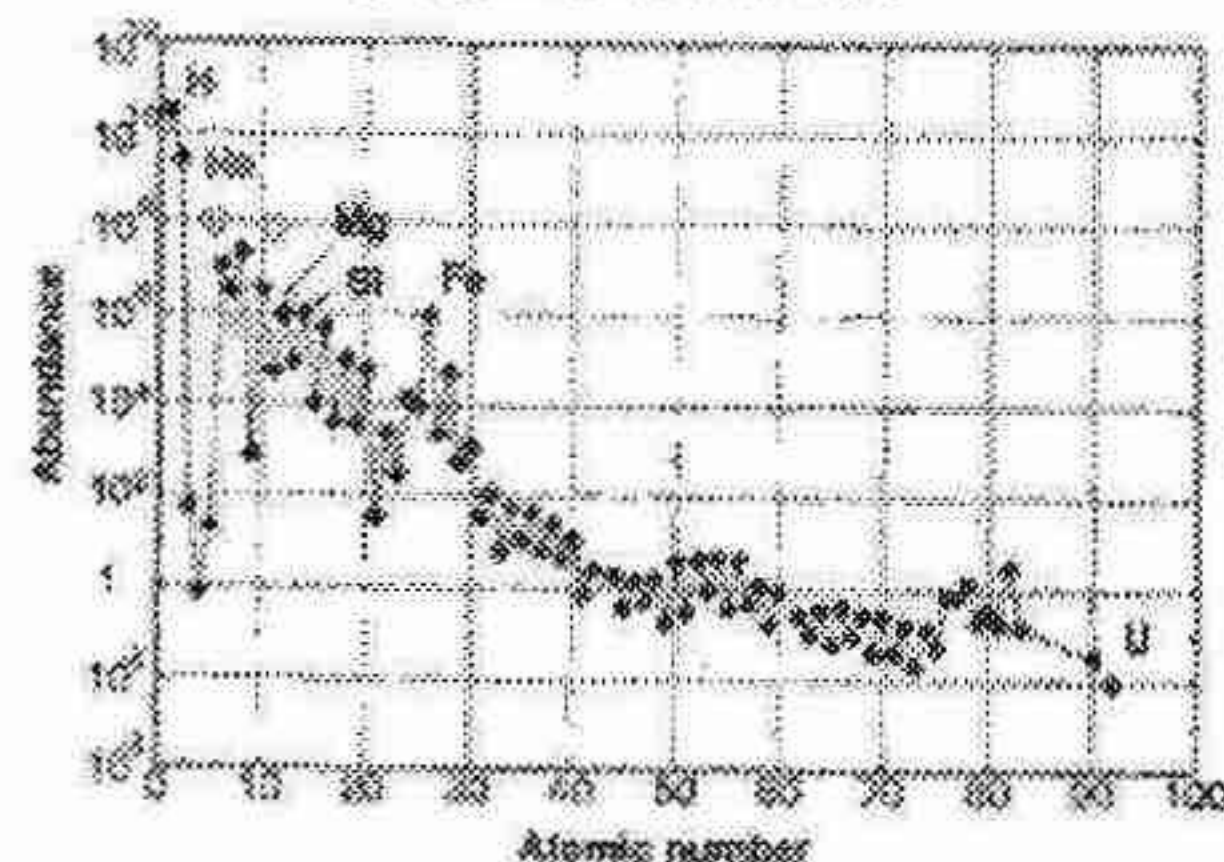


星で生成されるダストの組成



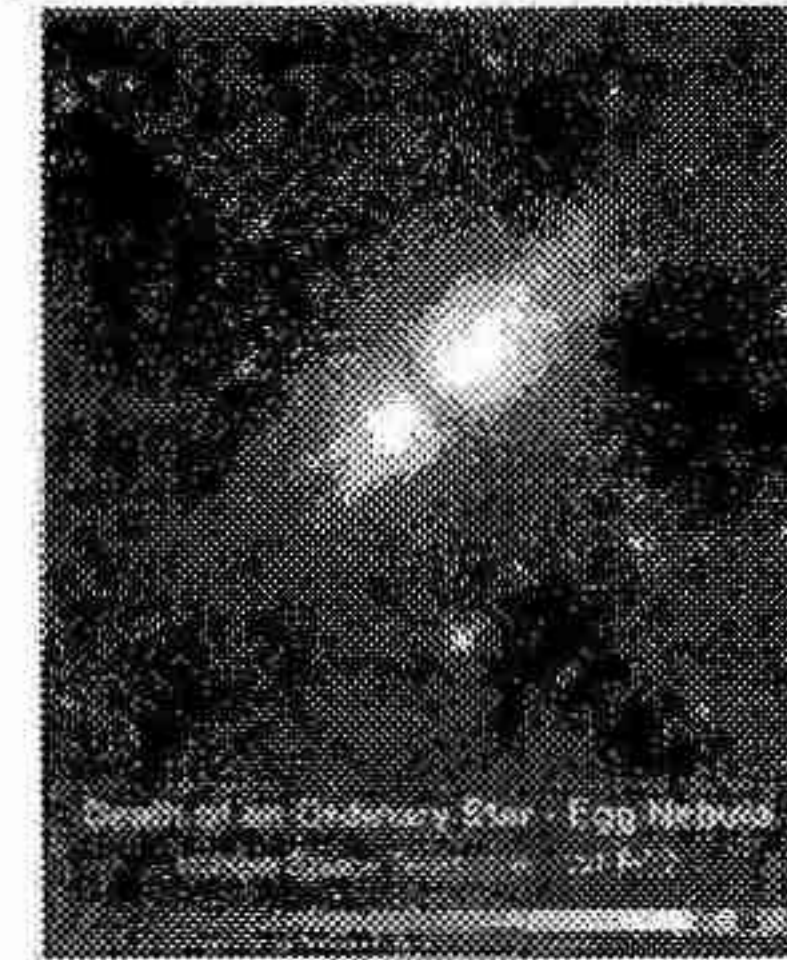
- C < O: 太陽系
- シリケート, 鉄
- 地球の組成
- C > O
- 炭素, SiC

宇宙の元素組成



H >> He >> O > C > N > Mg ~ Si ~ Fe

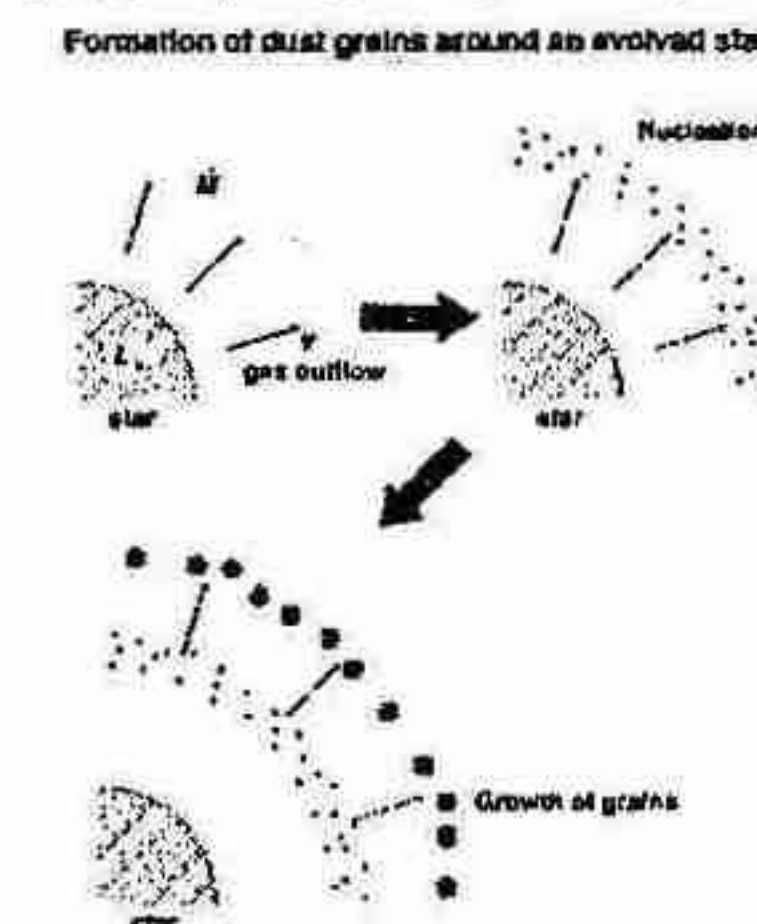
星の死とダストの誕生



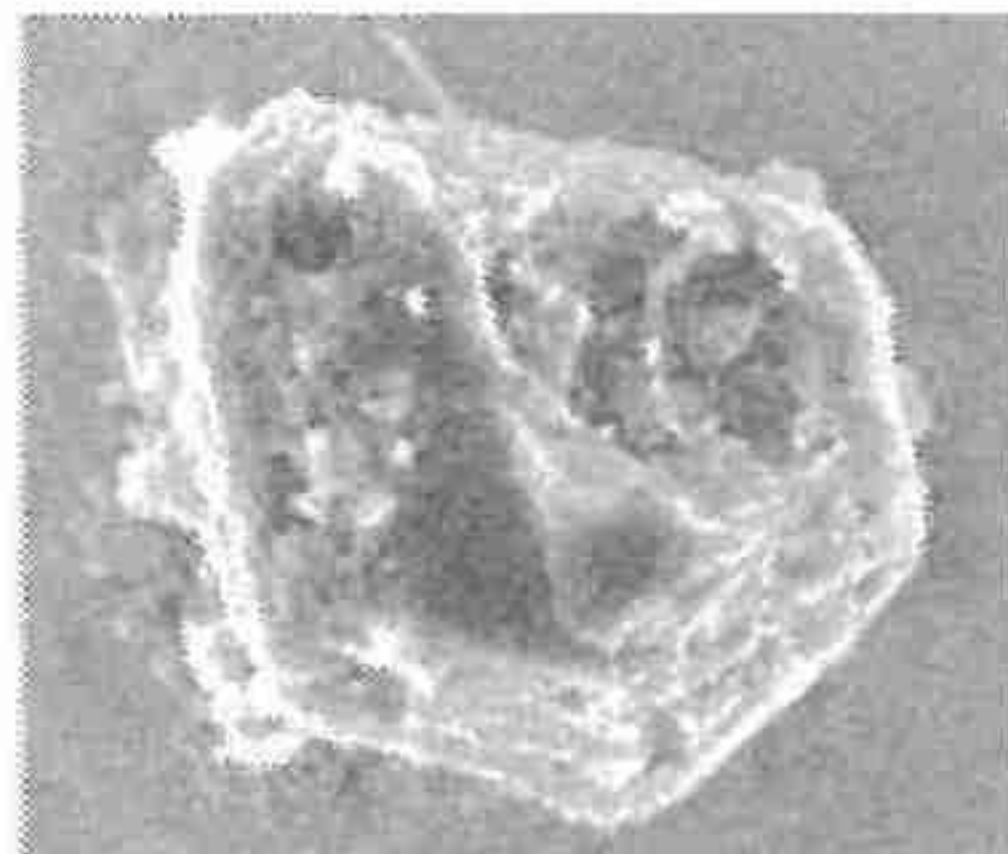
宇宙元素組成の特徴

- H >> He > O > C > N ~ Mg ~ Si ~ Fe
- O > C ⇒ 地球は石と鉄の惑星
- 原子番号 Z が大きい元素ほど少ない.
- Z とともに単調には減少しない.
- 質量数 A = 4n の元素が多い
- 特に Fe (A = 56) が目立って多い.

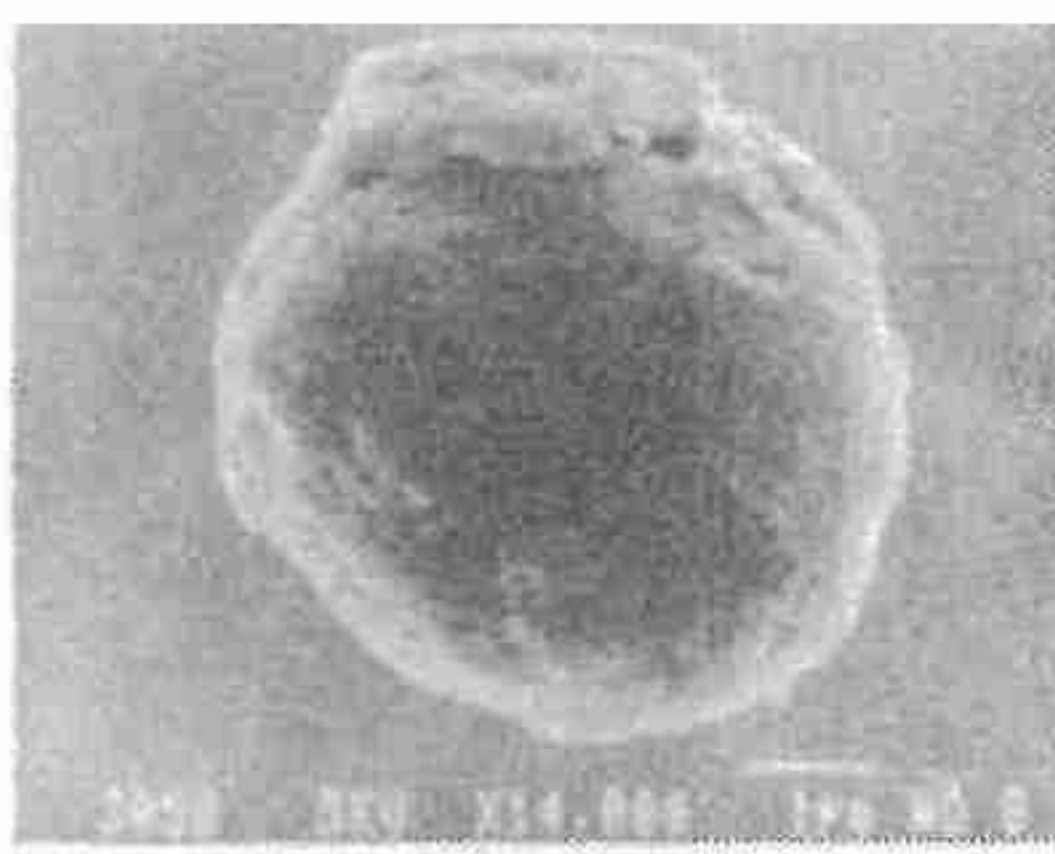
星のまわりでのダストの生成



隕石から抽出されたスターダスト



SiC



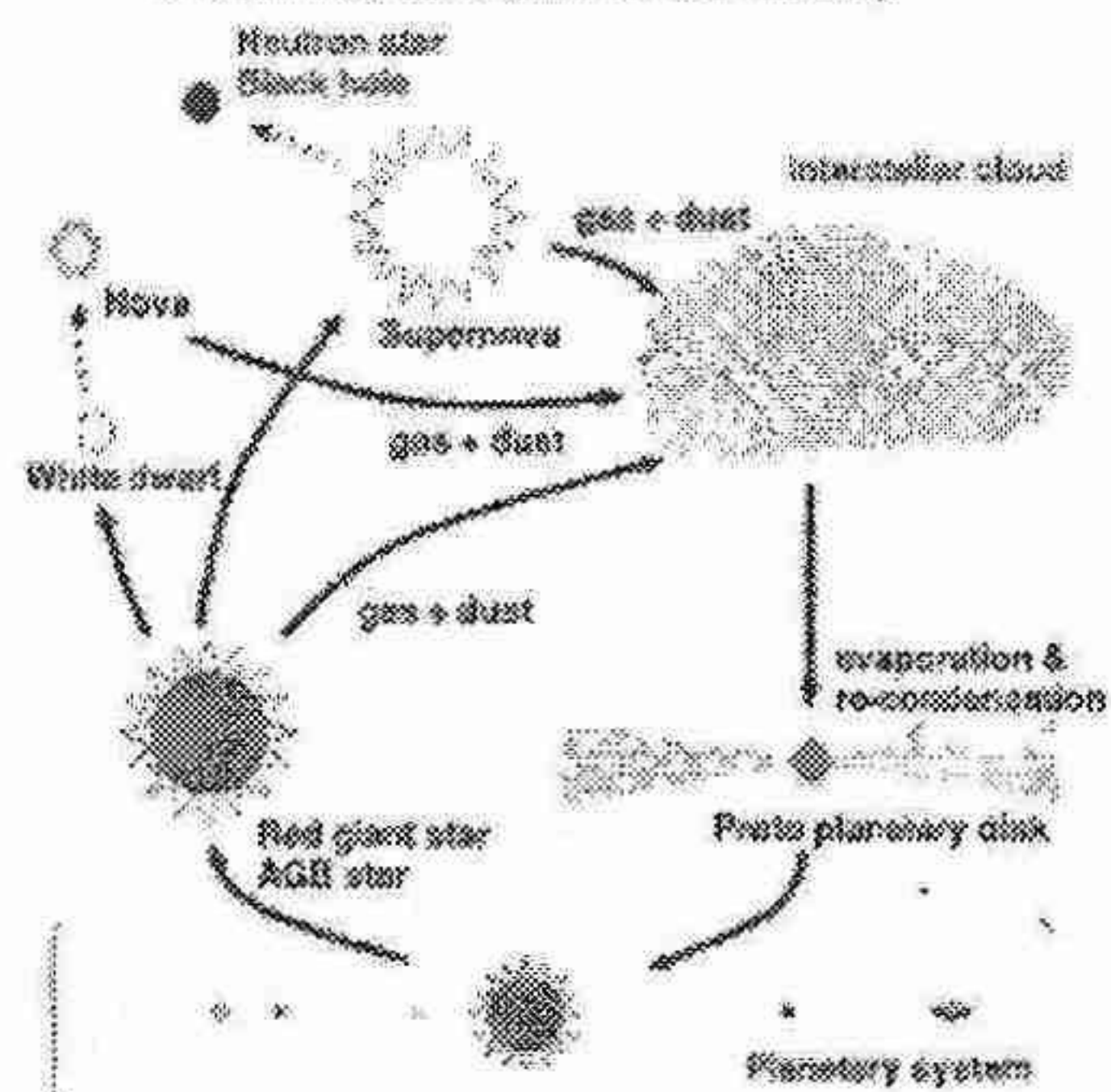
graphite
(Nittler 1999)

われわれの
銀河系



宇宙にはいたるところに、暗黒星雲がある
暗黒星雲から星が生まれる

Circulation of Matter in the Galaxy



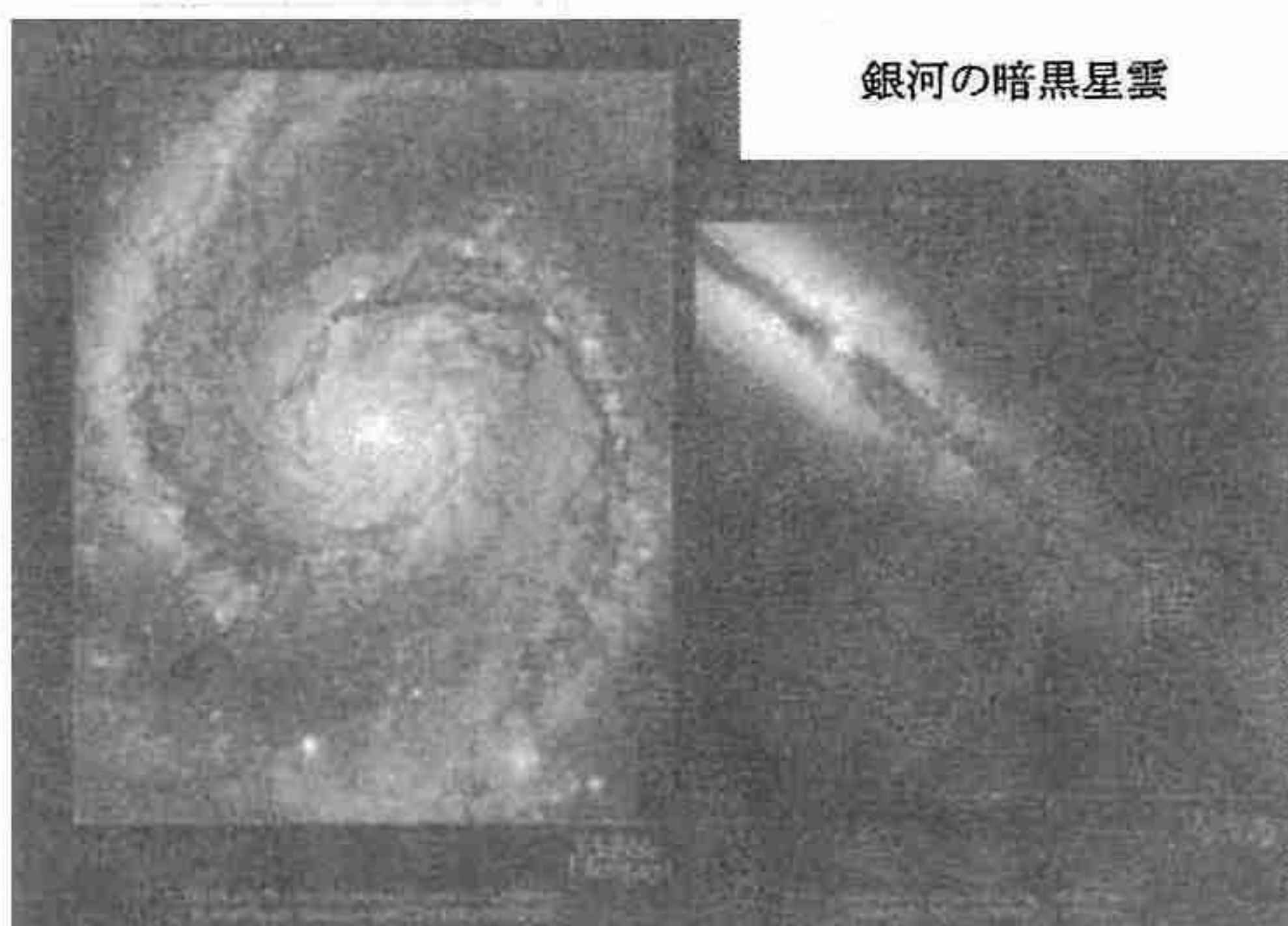
Gaseous Pillars - M16 HST - WFPC2
PRC95-046 - ST ScI OPO - November 2, 1995
A. Herzer and P. Schmitt (AZ State Univ.), NASA

1. 暗黒星雲

オリオン座の馬頭星雲



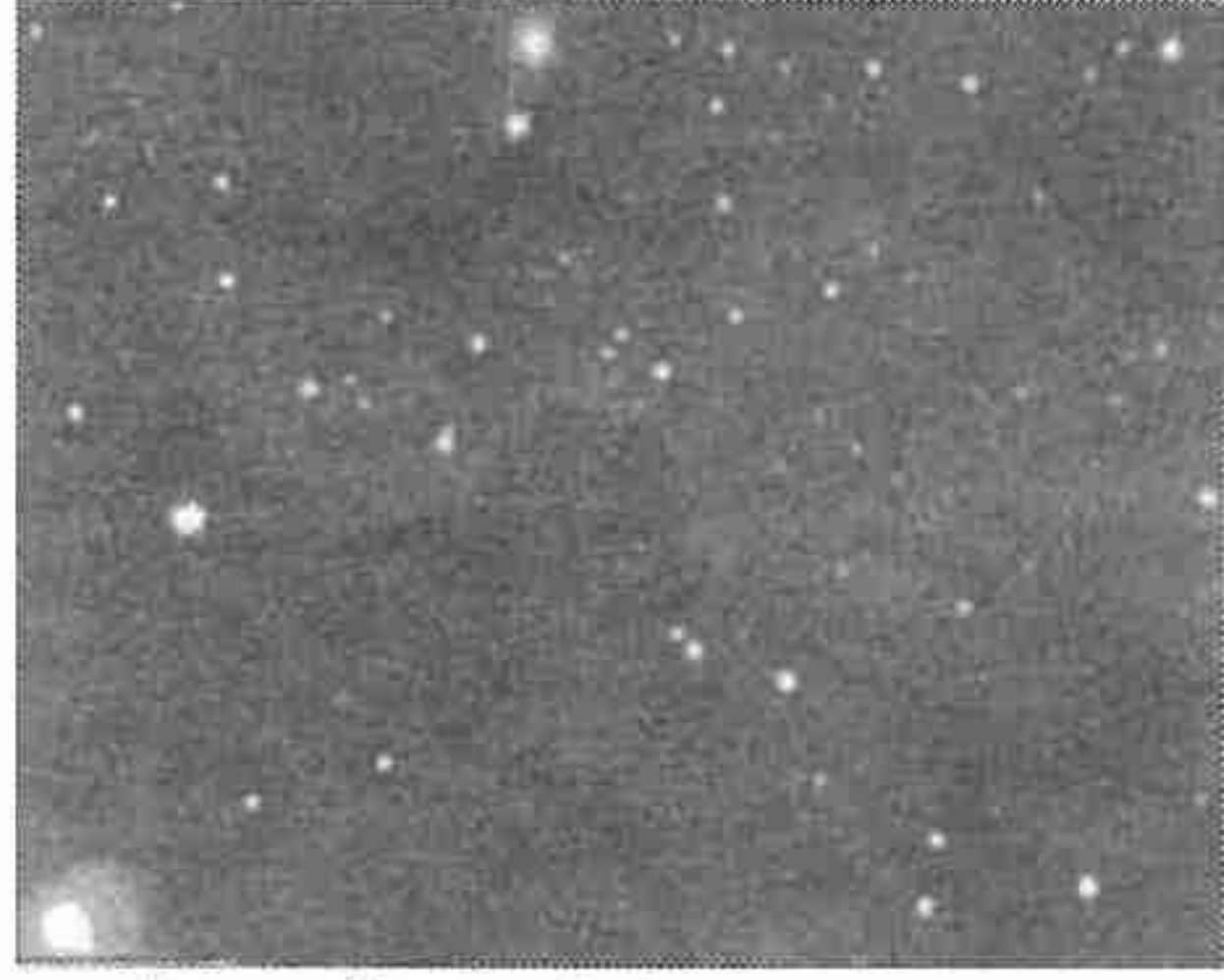
銀河の暗黒星雲



暗黒星雲

- ガスとダストからなる低温巨大雲
- $M = 10^3 - 10^6 M_{\text{sun}}$
- 星と惑星系の誕生場所
- 宇宙の化学工場
- 原子・分子 --> 氷 --> 有機物

暗黒星雲(分子雲)



低温・低圧の世界
 温度: 10 K = -263 °C
 圧力: 10^{3-4} 個 H_2/cm^3
 = 10^{-15} 気圧

- ・暗黒→ダストの存在
- ・電波→分子(H_2 , CO, ...)の存在→分子雲
- ・赤外線→ダストの組成, 構造

ハッブル宇宙望遠鏡



暗黒星雲の観測

- ・ 電波観測
 - ・ 分子
- ・ 赤外線観測
 - ・ ダスト, 分子

地球大気が観測のじゃまになる—成層圏

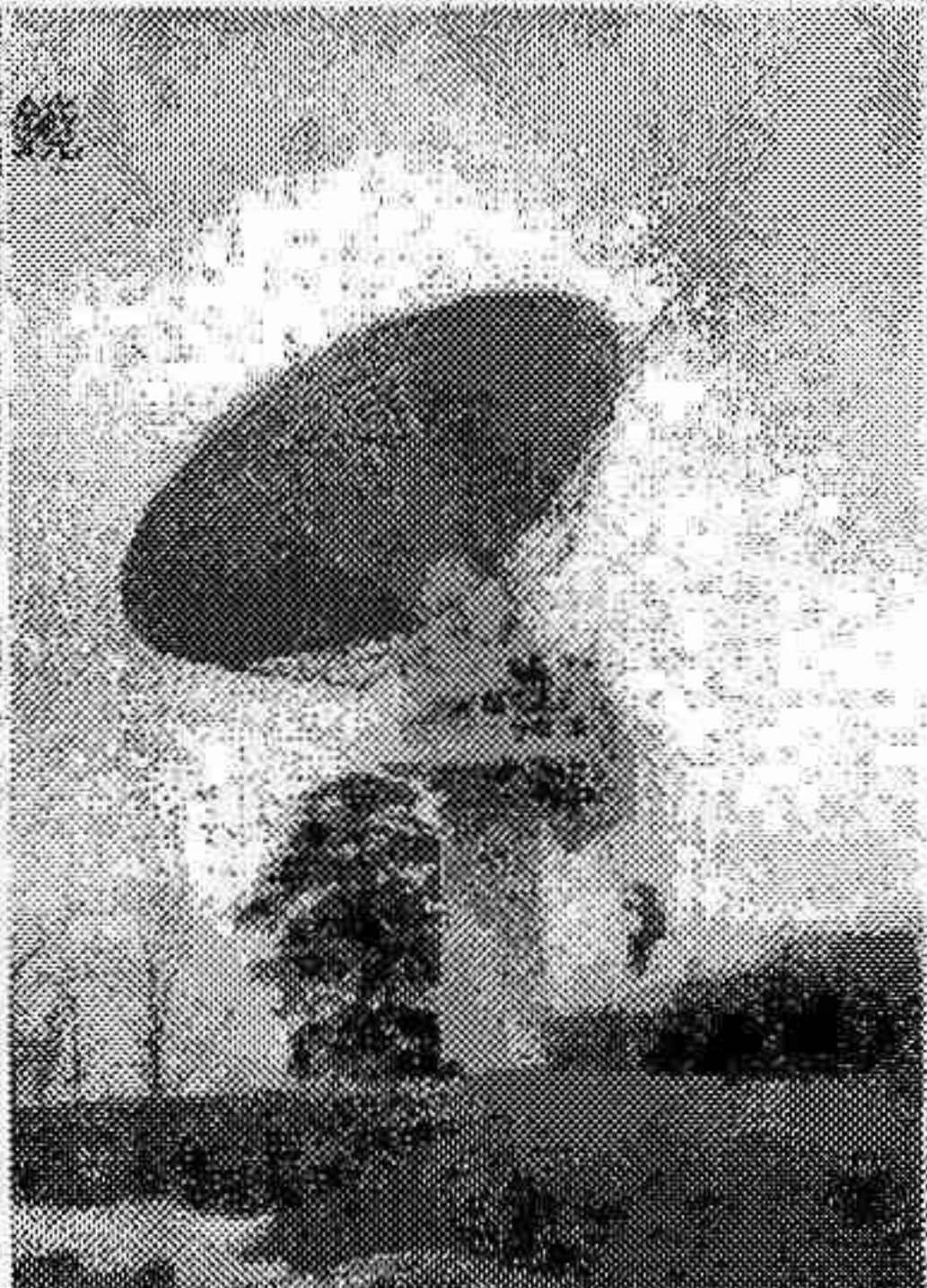


Kuiper Airborne Observatory

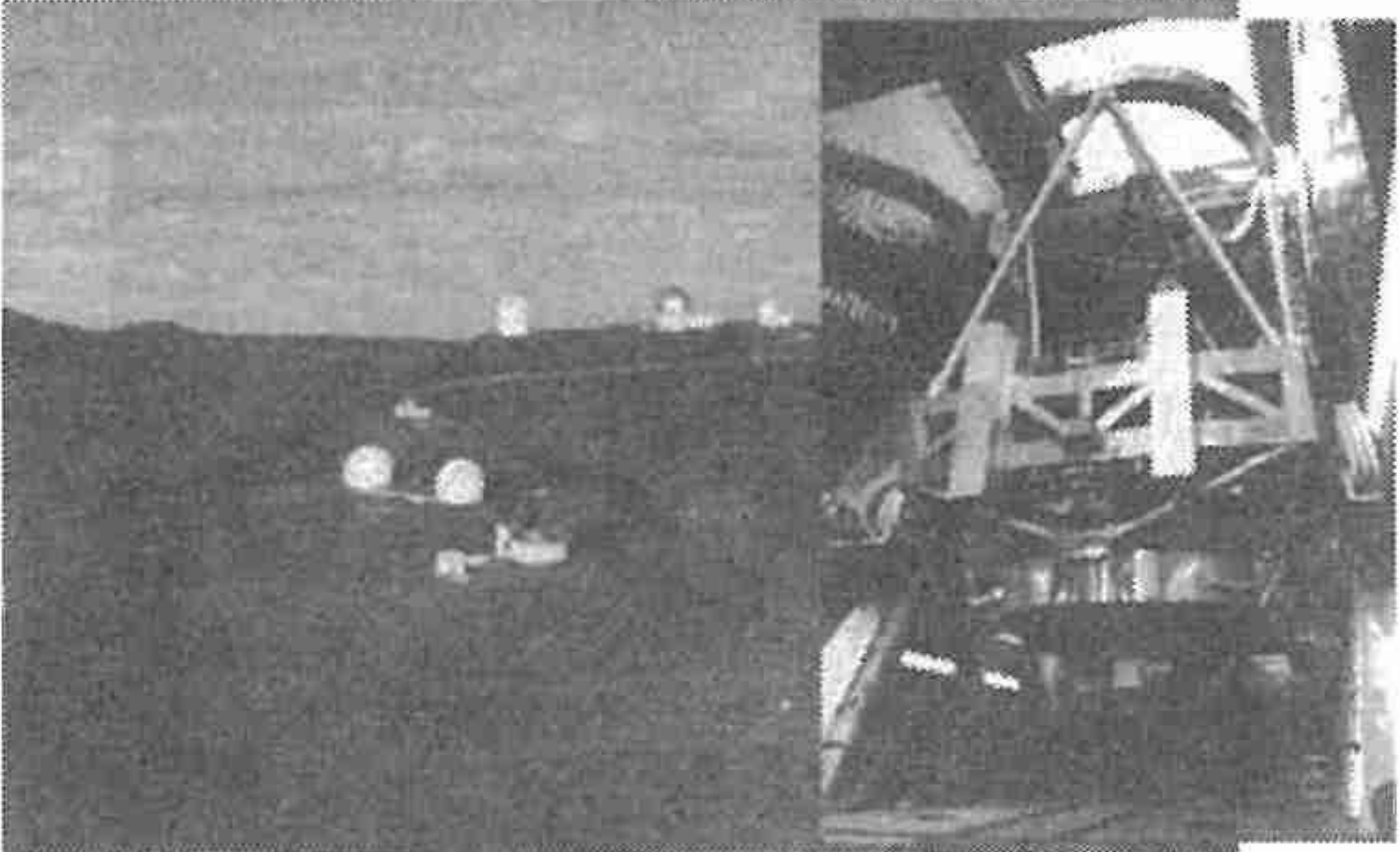
北大苫小牧11m電波望遠鏡

自前の望遠鏡が完成

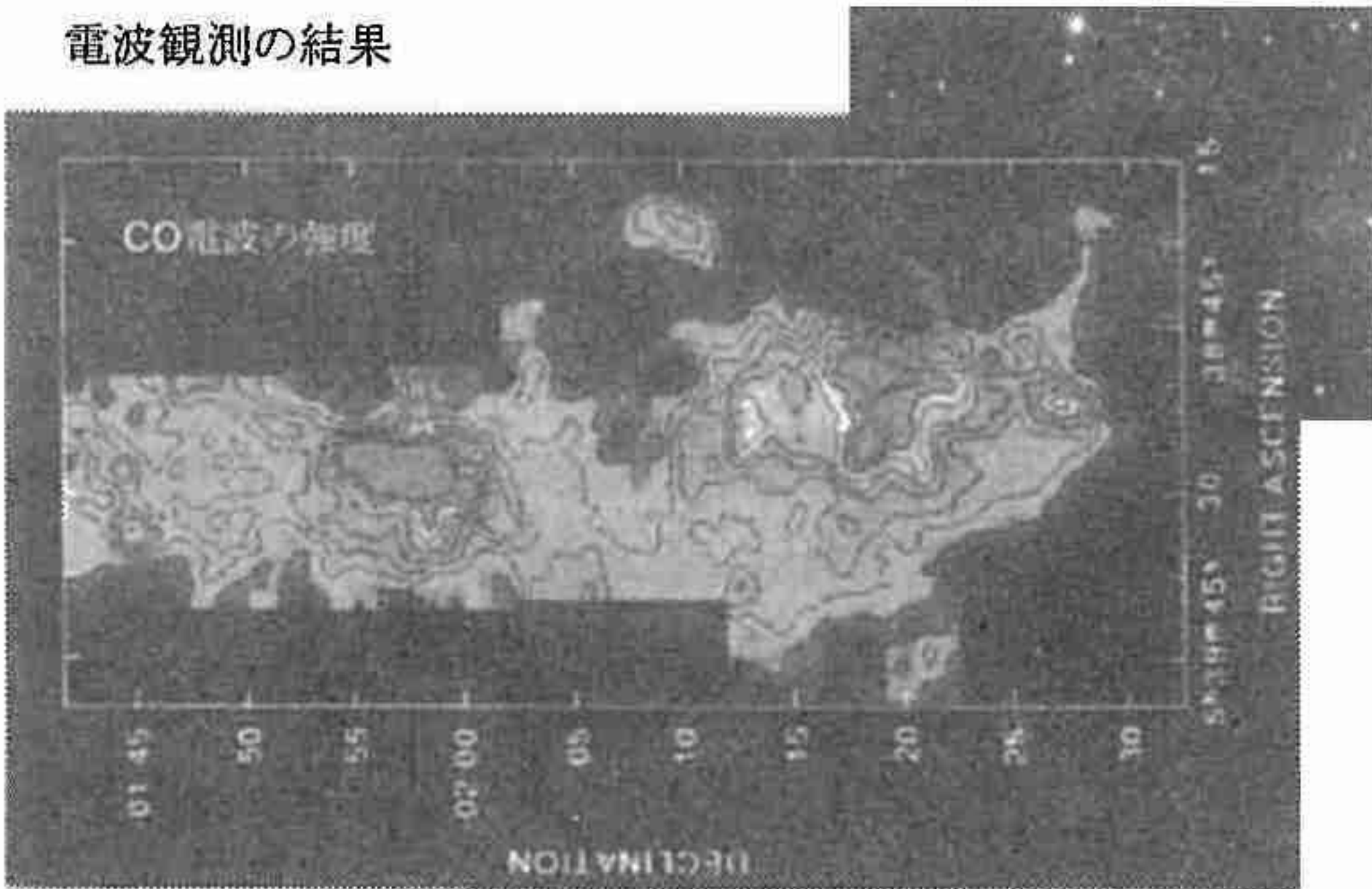
- ・ 単一鏡として
 - 星形成領域
 - 銀河の構造
- ・ 超長距離基線干渉計として (野辺山, VERAと組んで)
 - 2ミリ秒角の空間分解能
 - 世界的レベルの研究が可能
- ・ 原始惑星系円盤
- ・ 銀河の微細構造



地球大気が観測のじゃまになる—高山

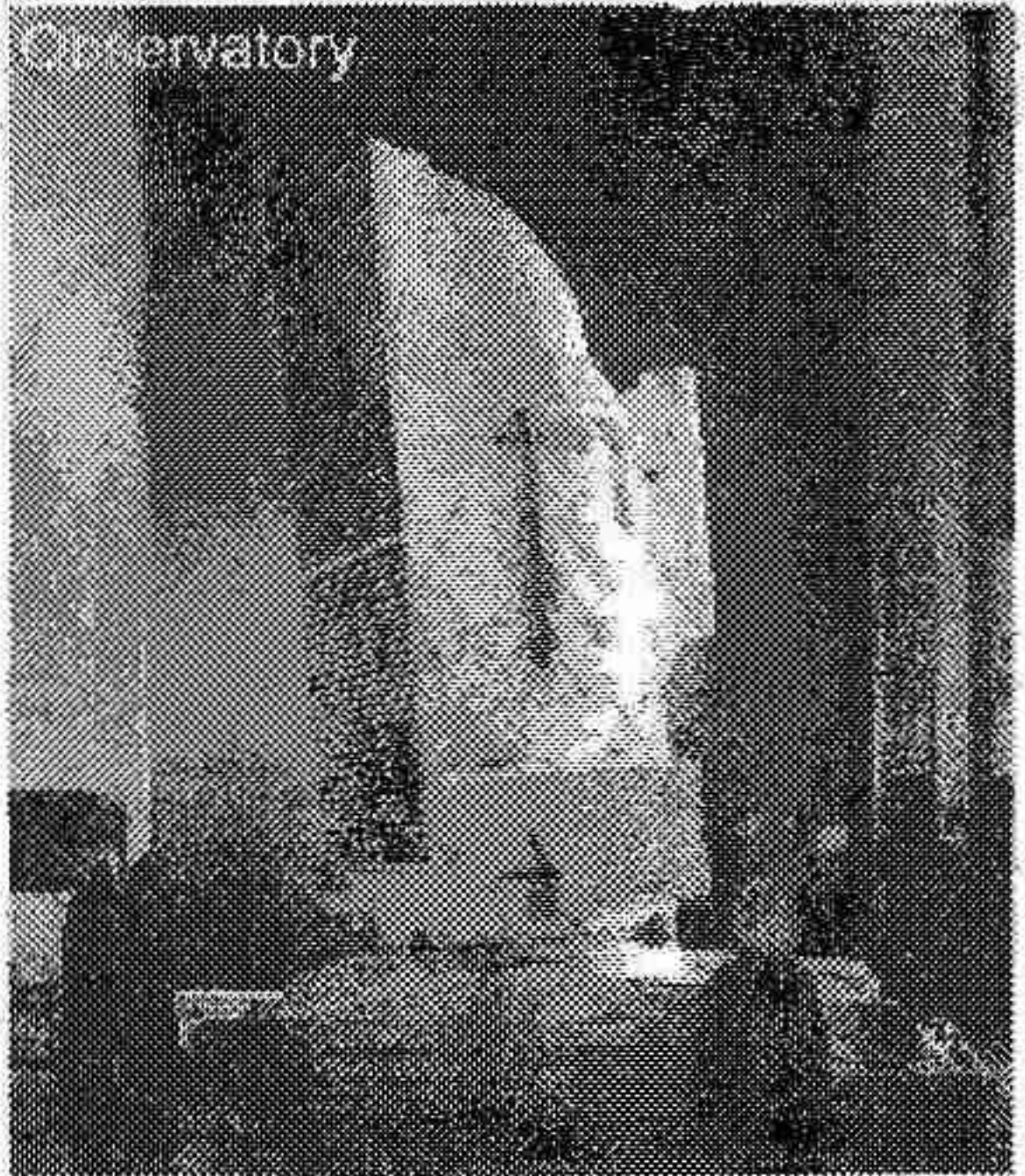


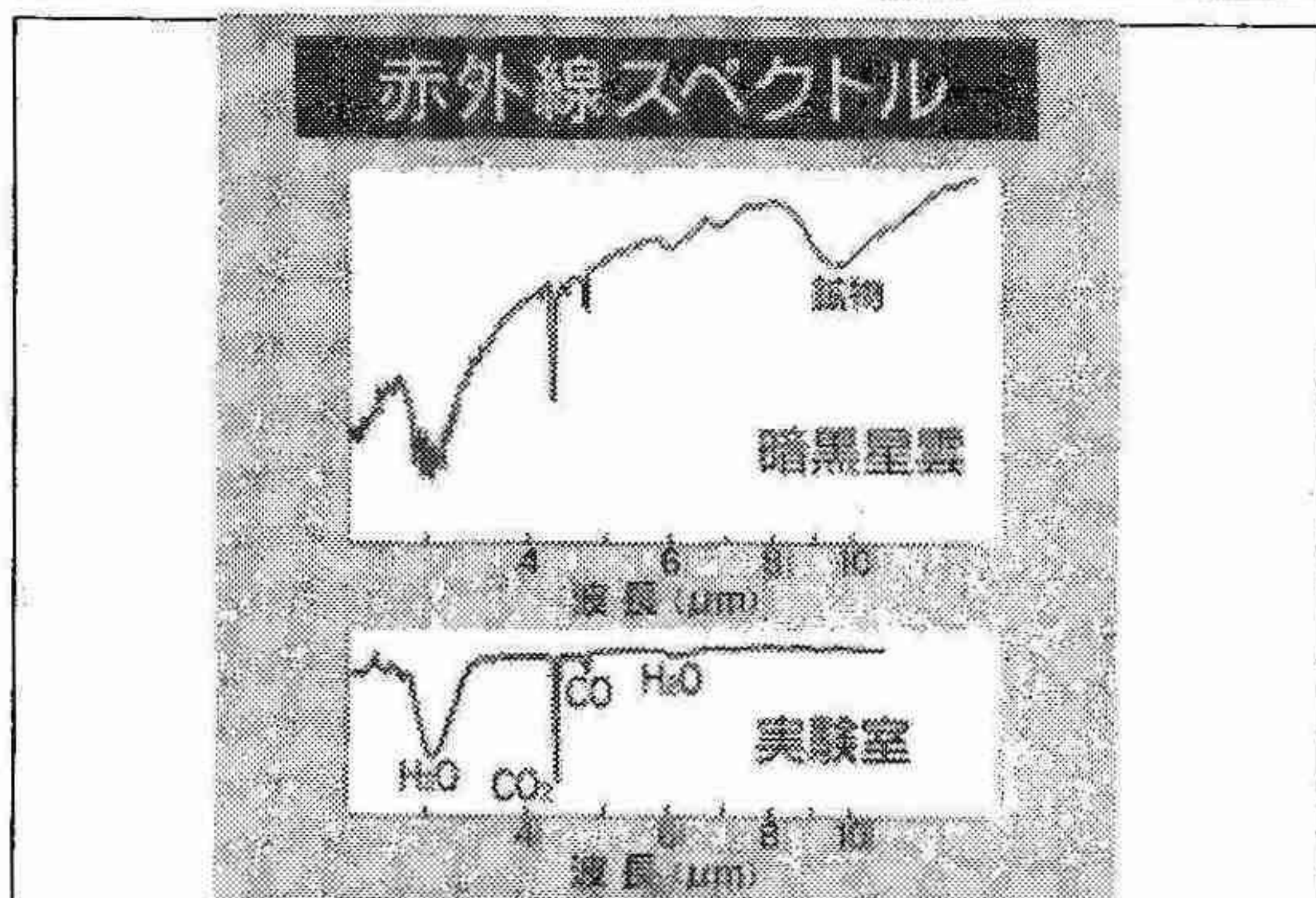
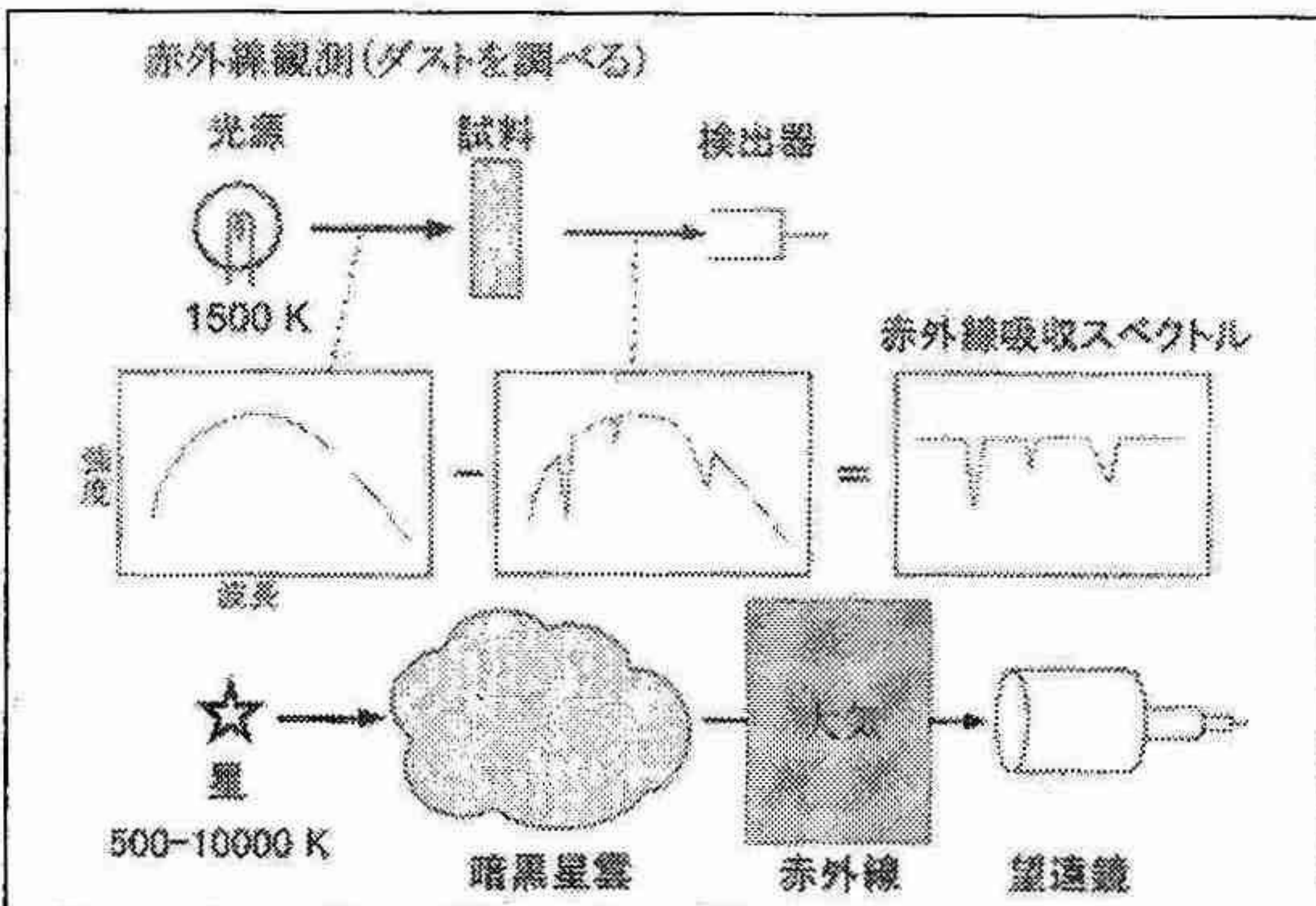
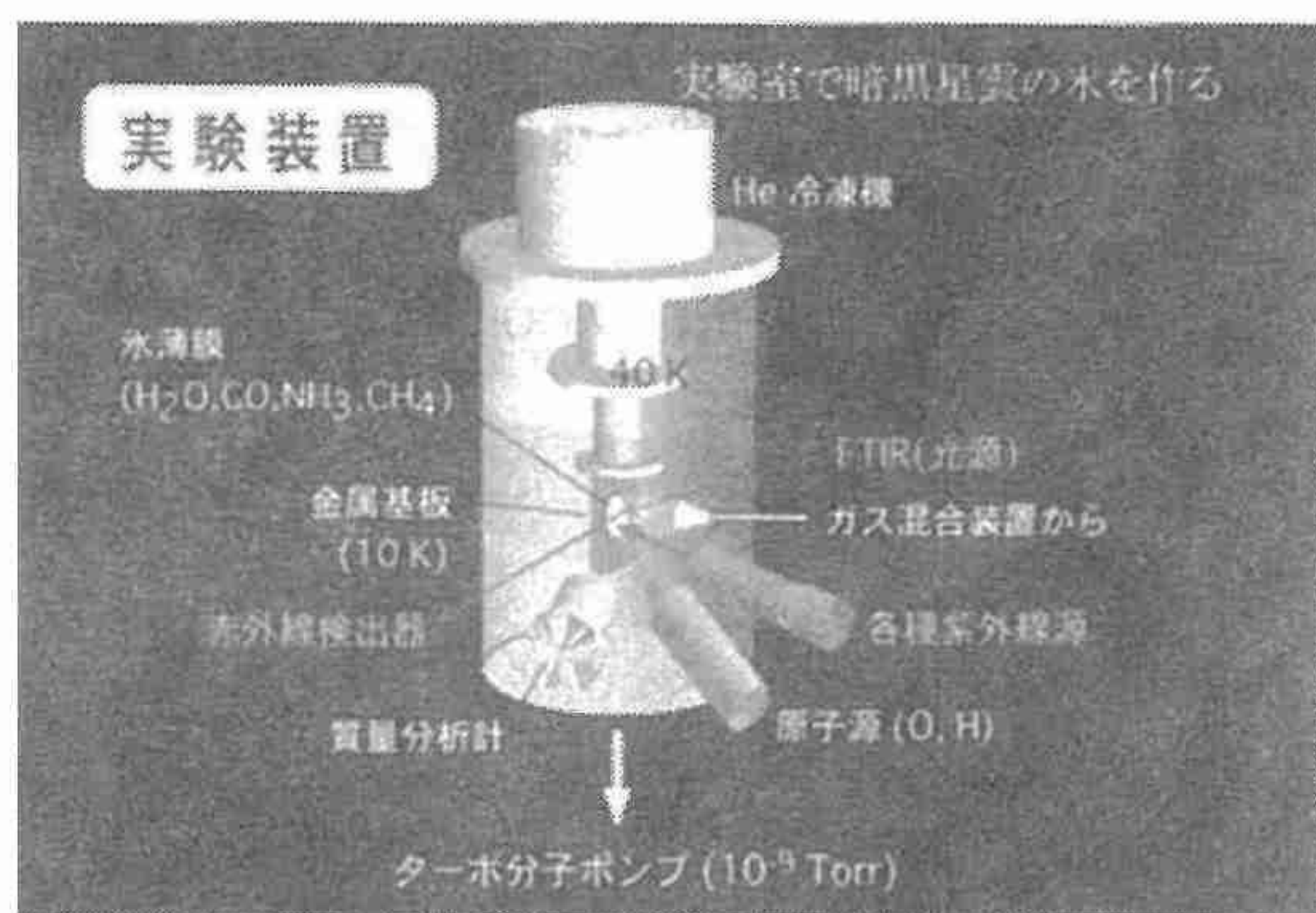
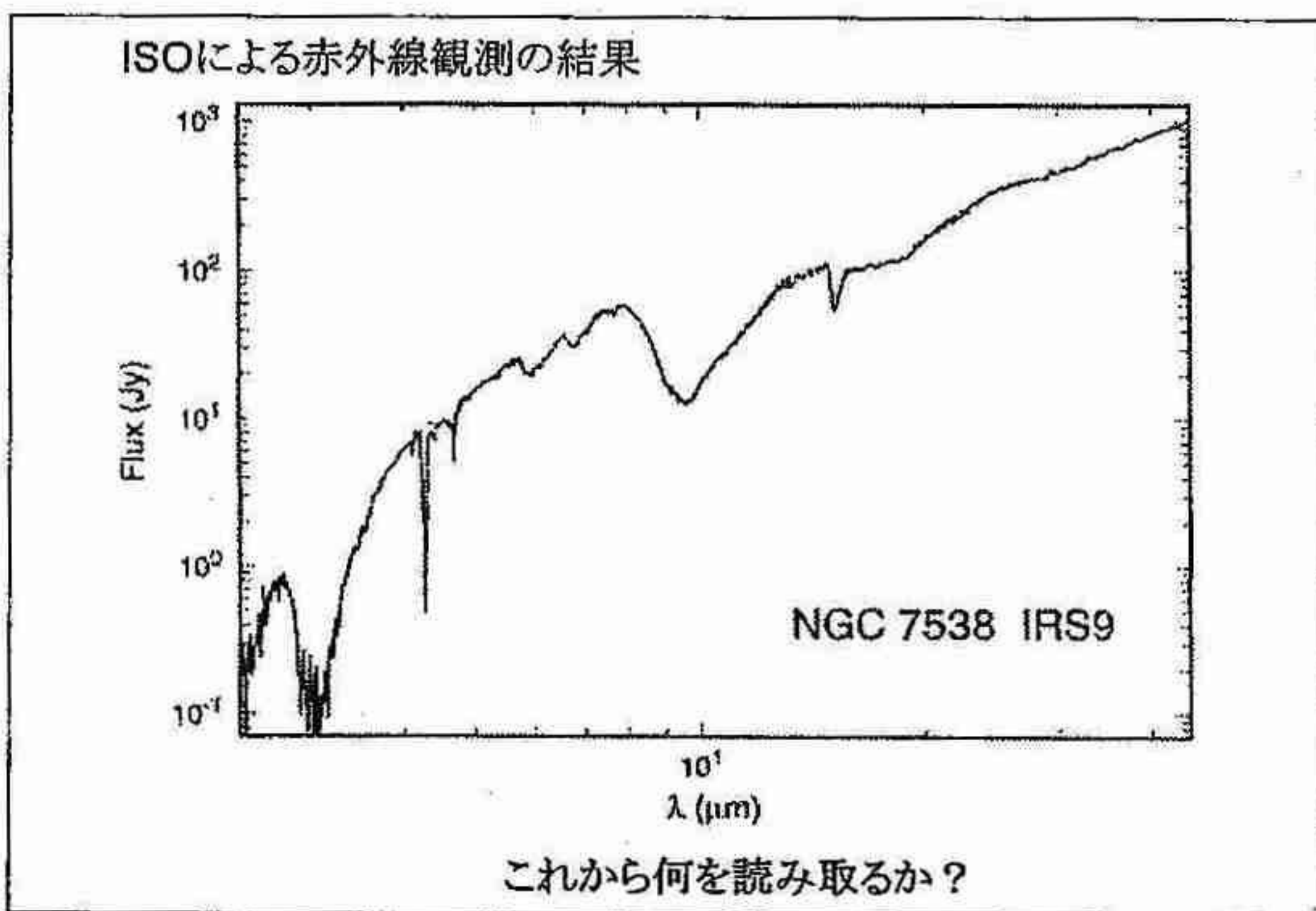
電波観測の結果



地球大気が観測のじゃまになる—宇宙から

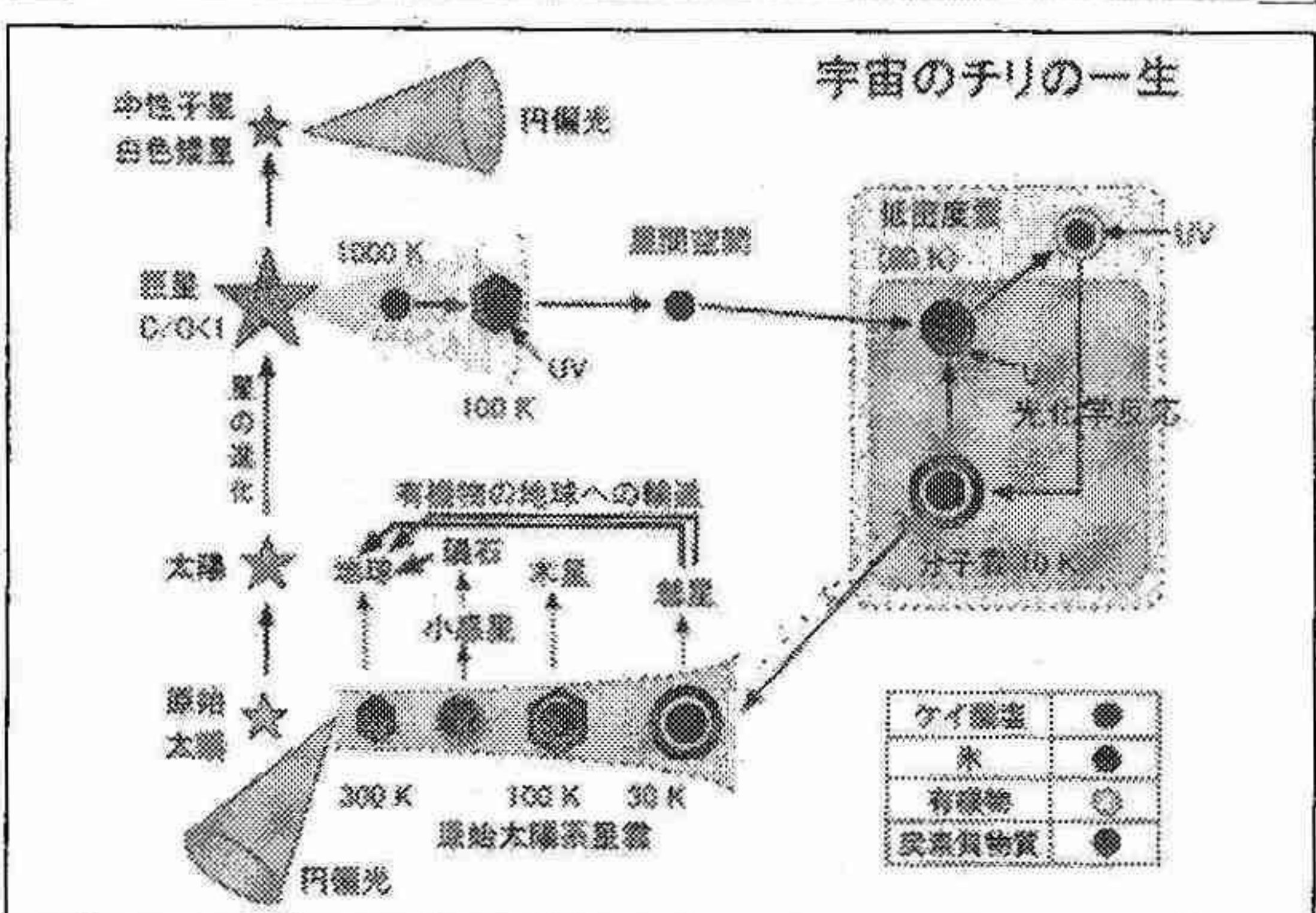
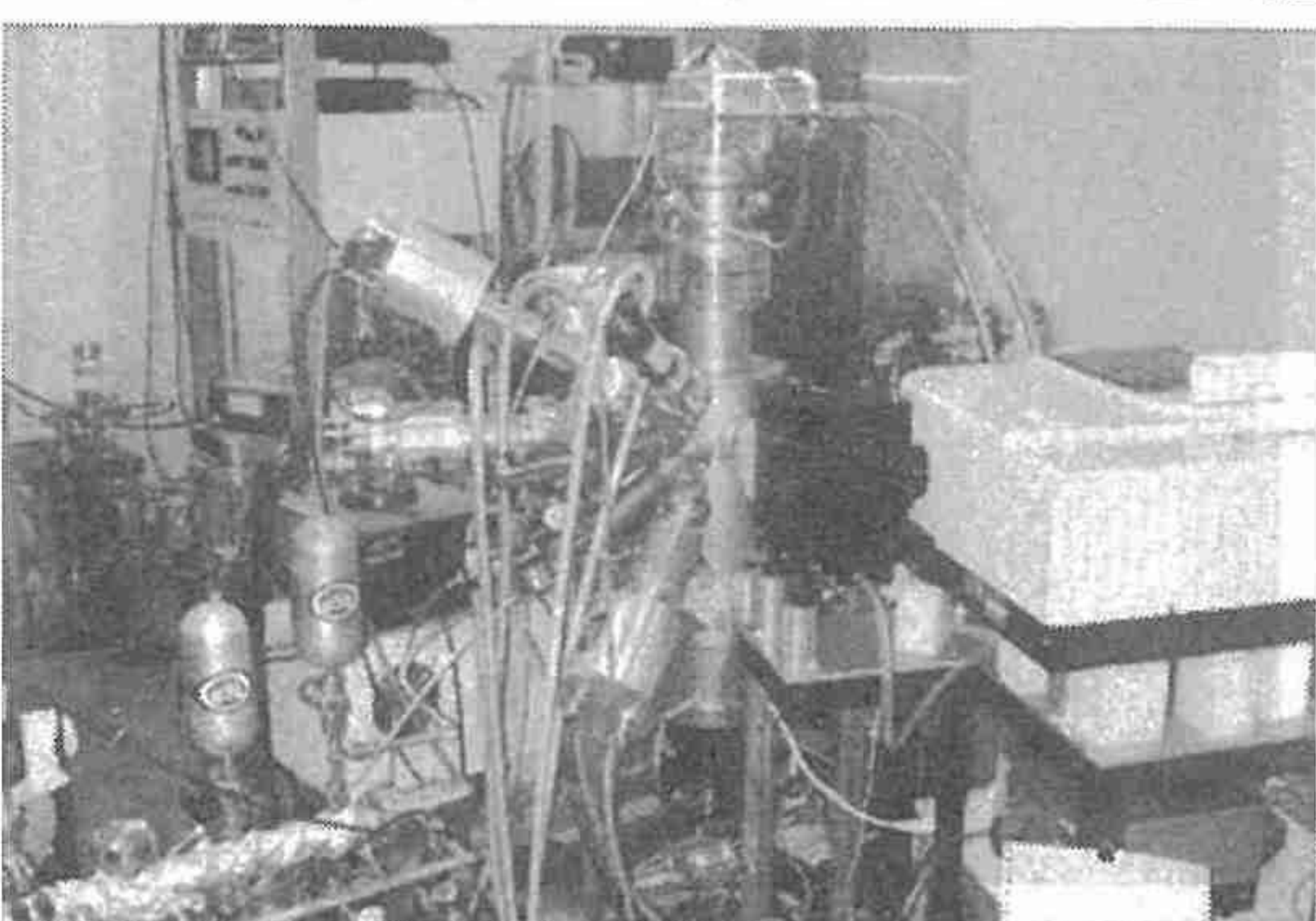
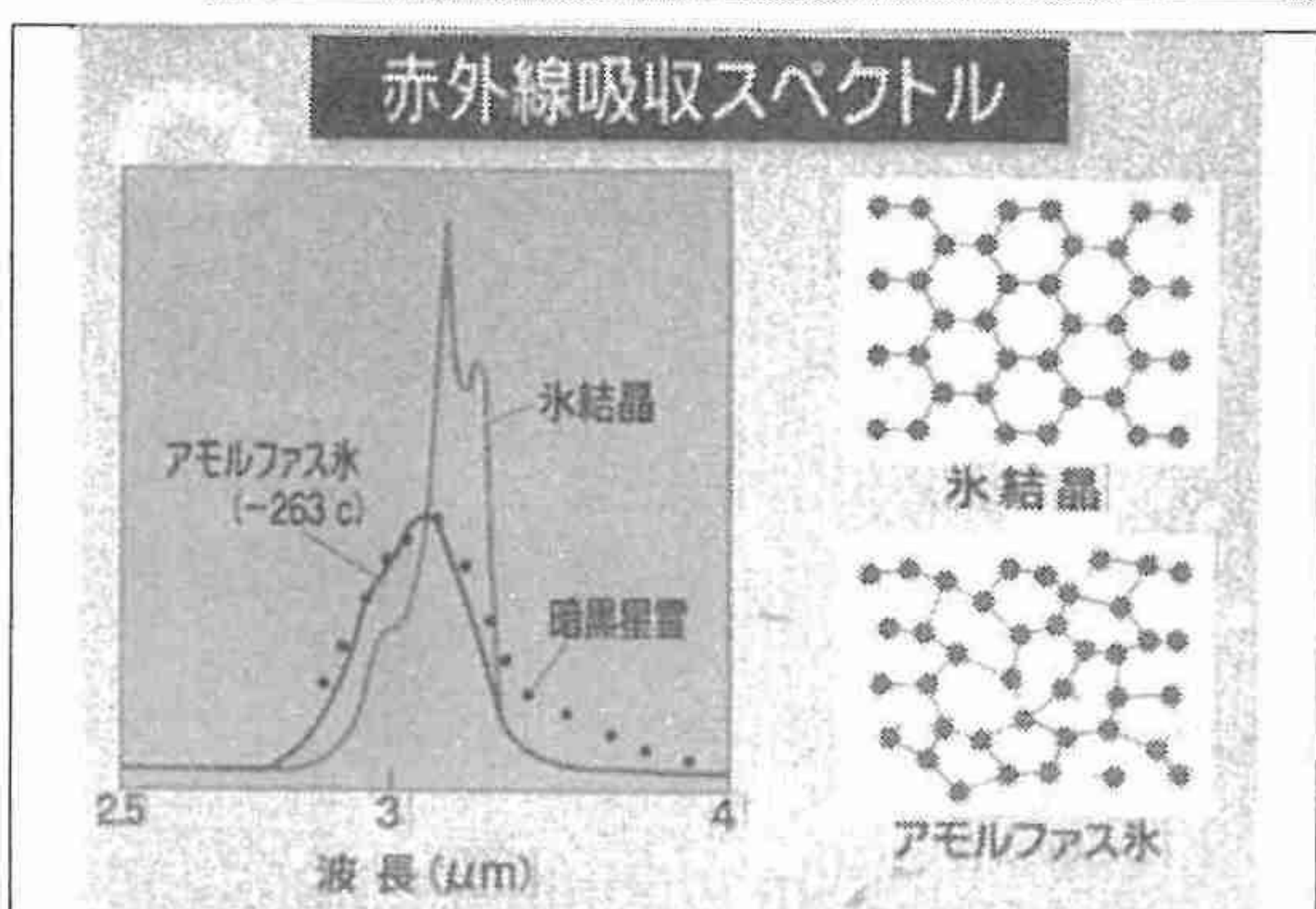
Infrared Space Observatory



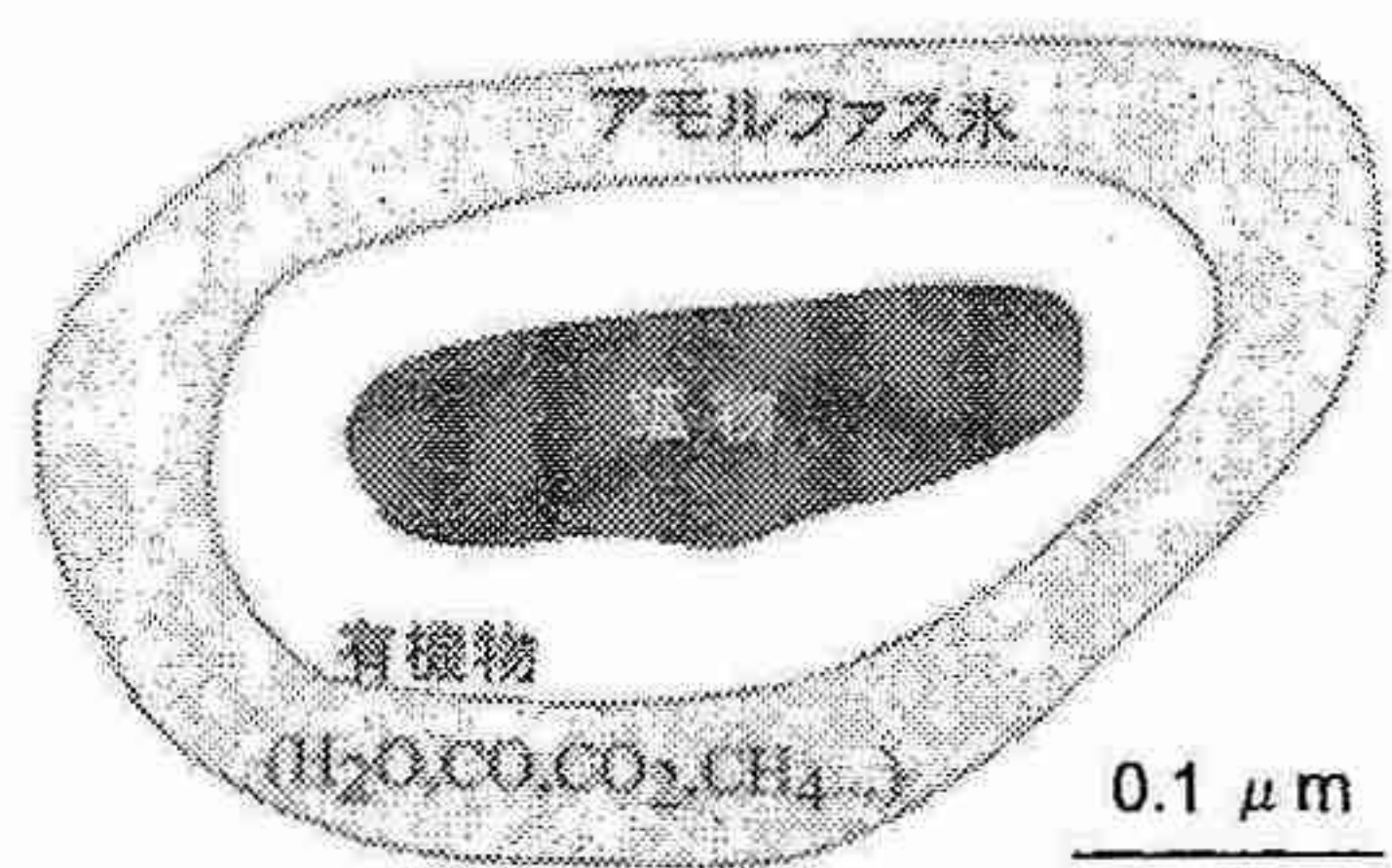


実験室に暗黒星雲をつくる

暗黒星雲内の氷の研究



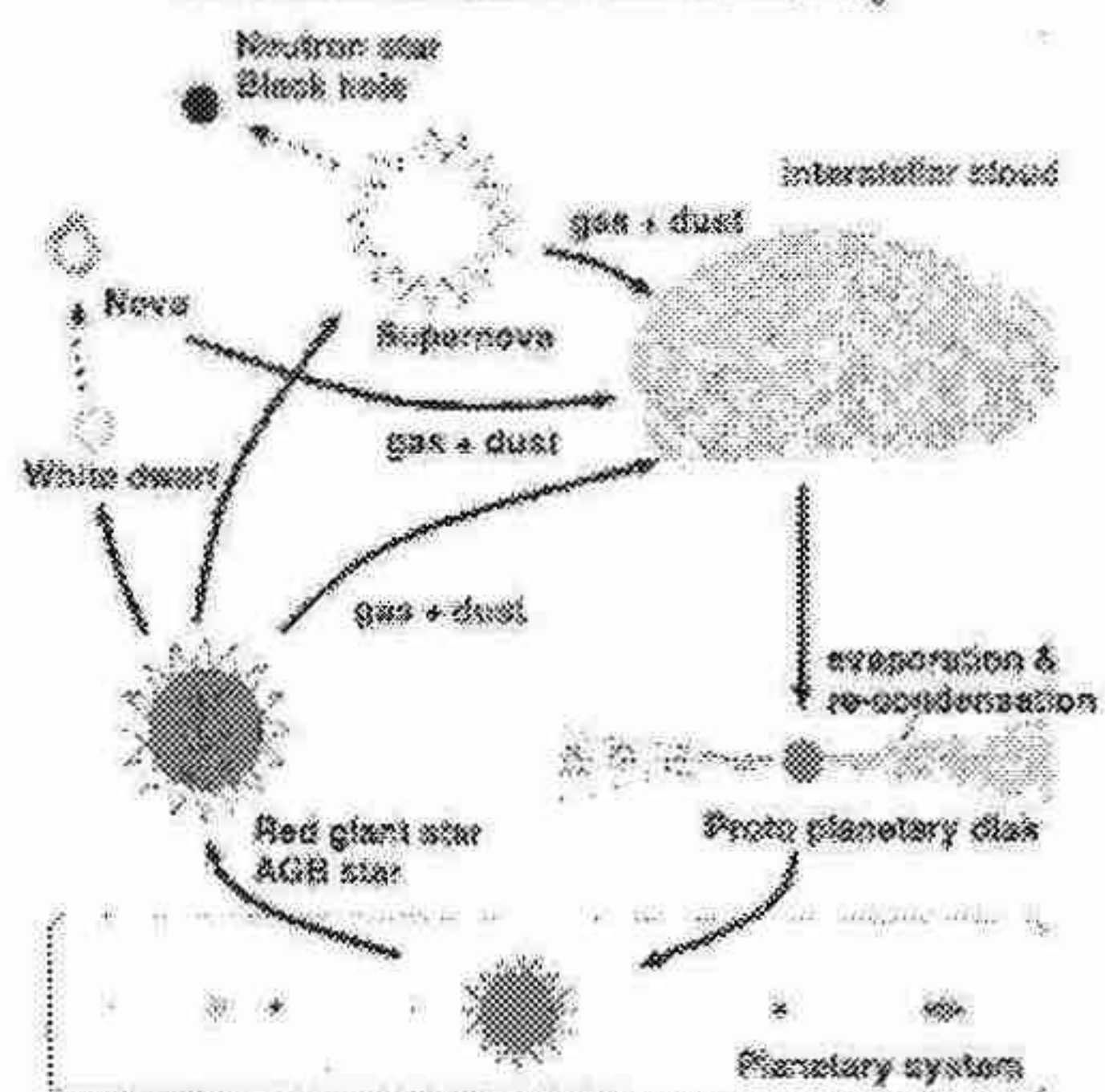
暗黒星雲の微粒子=太陽系の原料物質



原始惑星系円盤

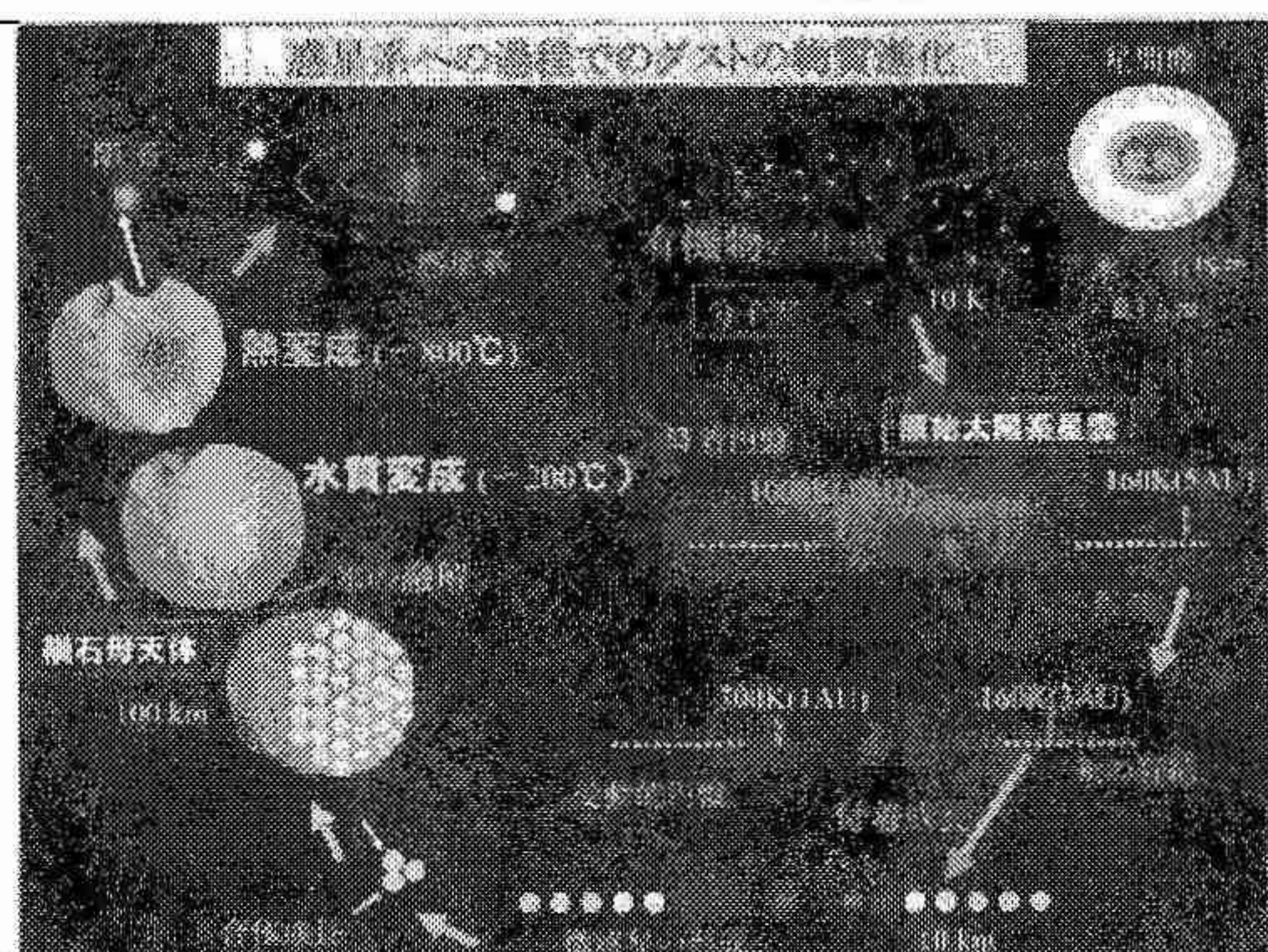
惑星の母体となるガスとダストからなる円盤

Circulation of Matter in the Galaxy

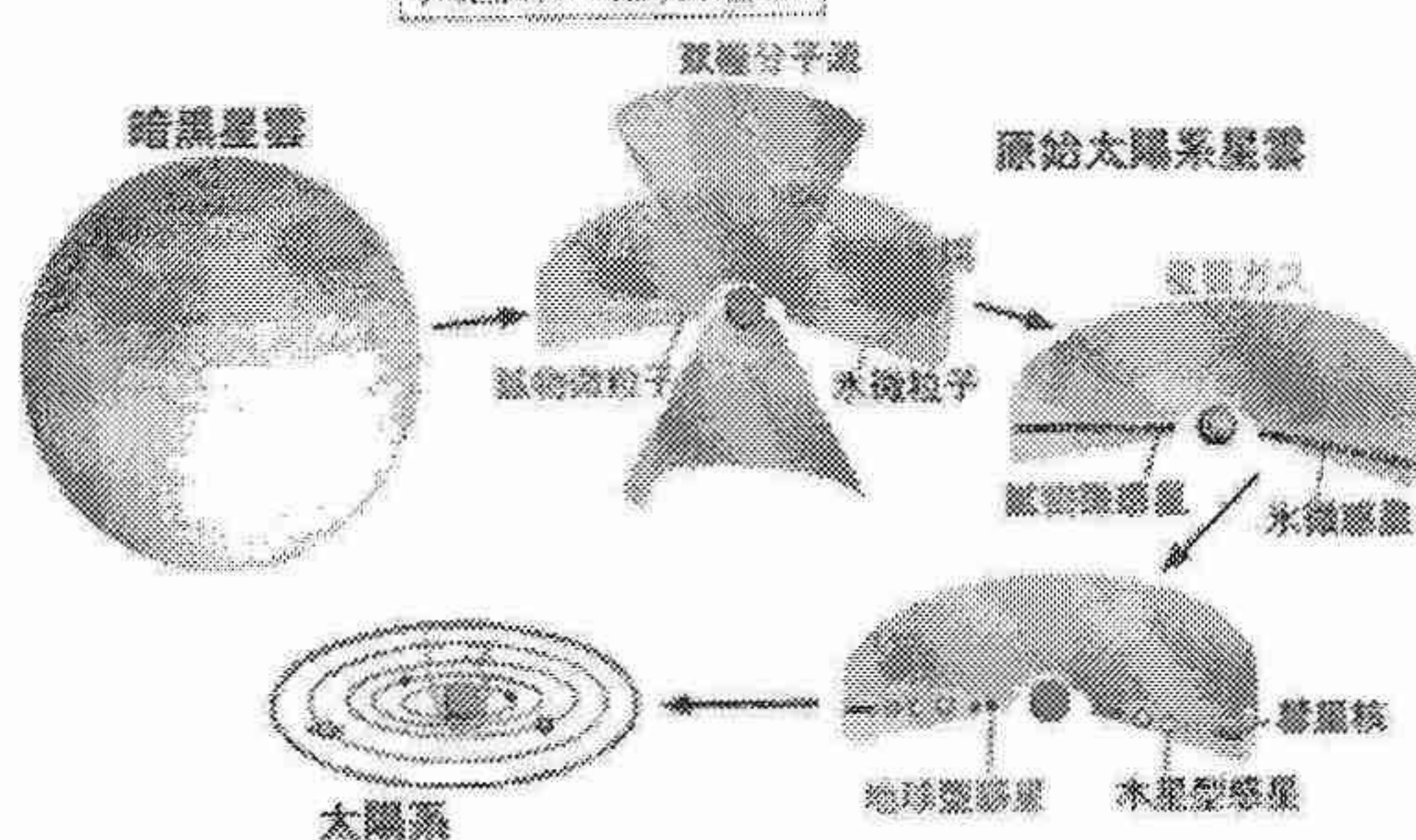


ダストから惑星へ

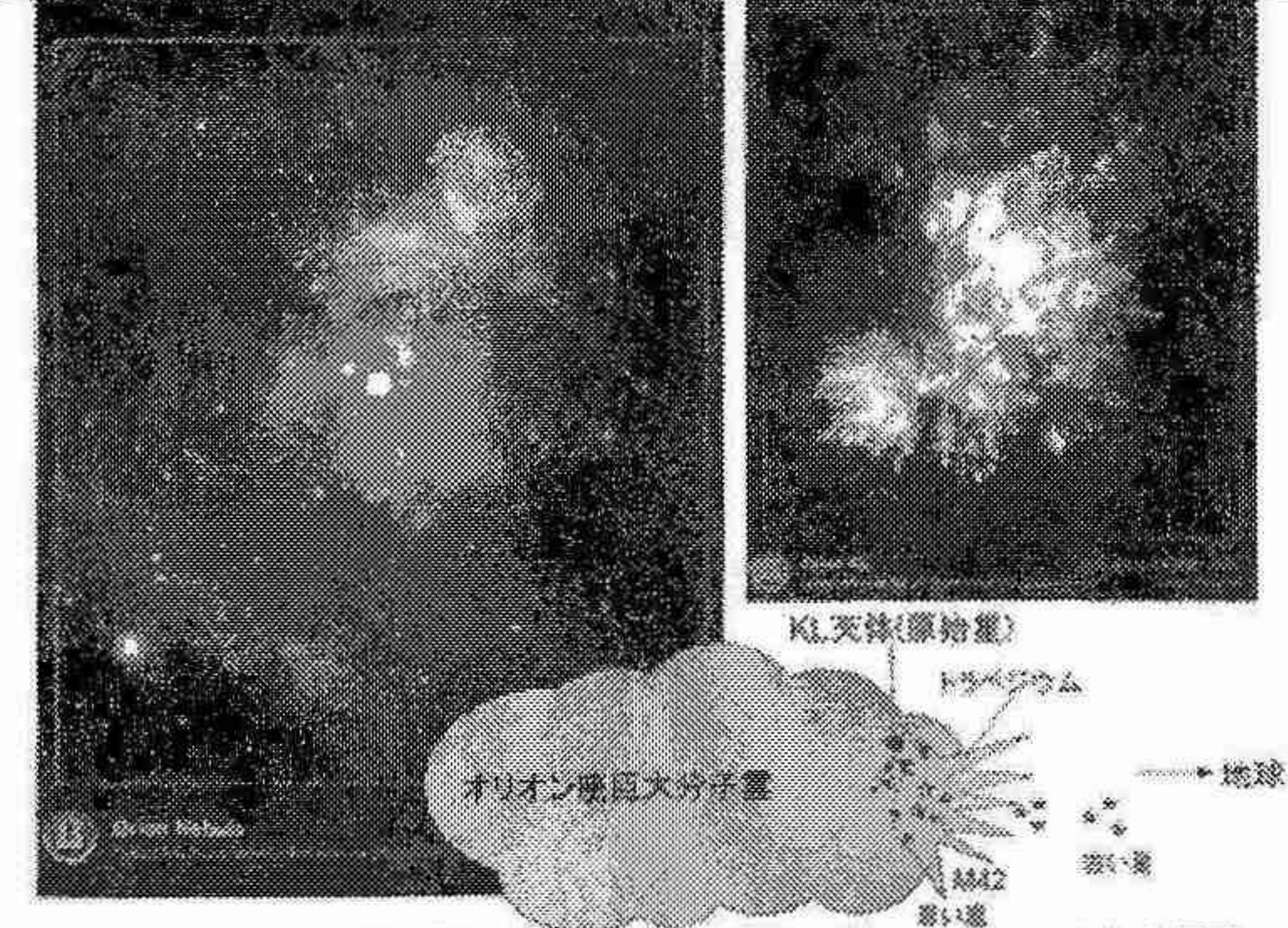
塵も積もれば...

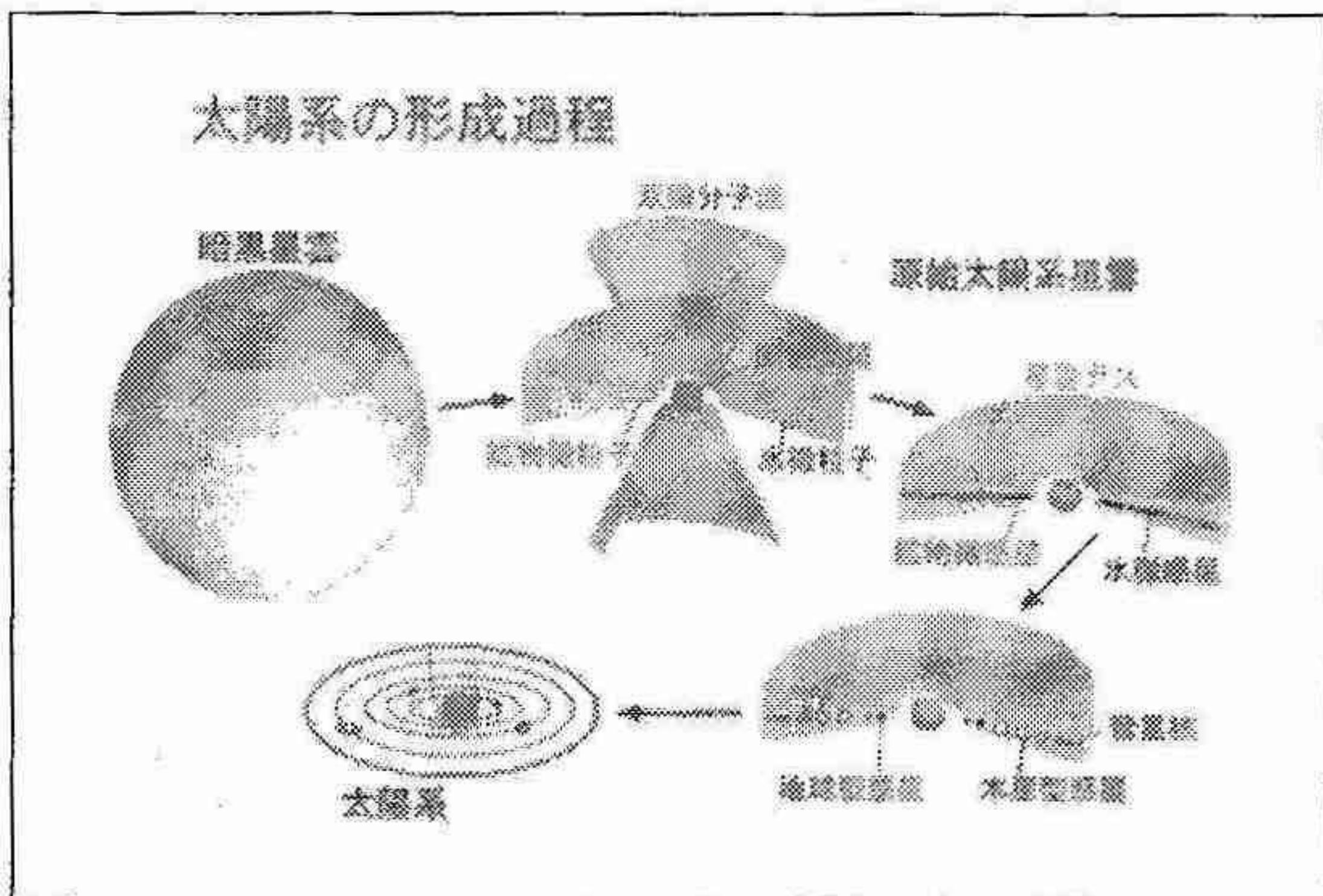
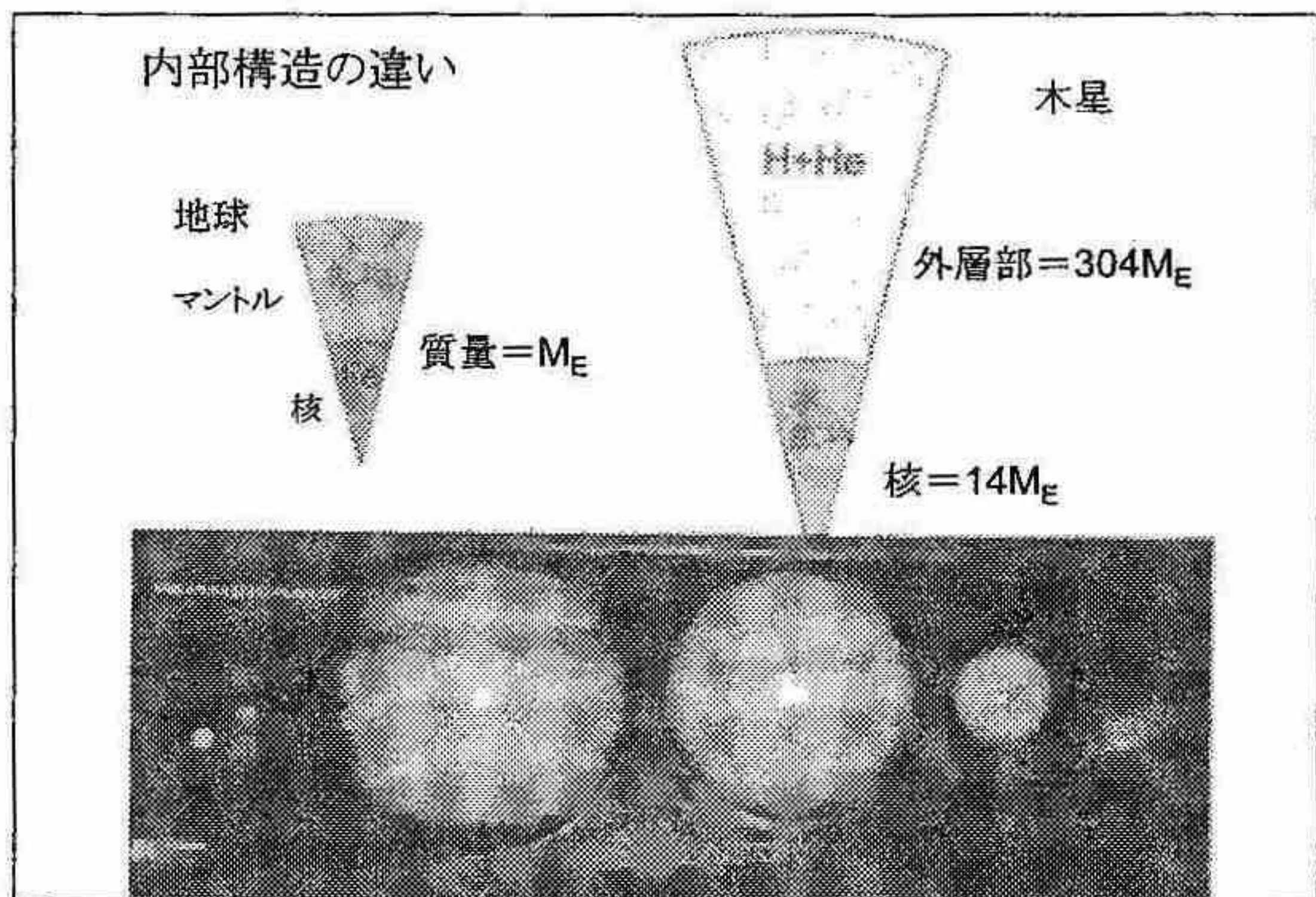
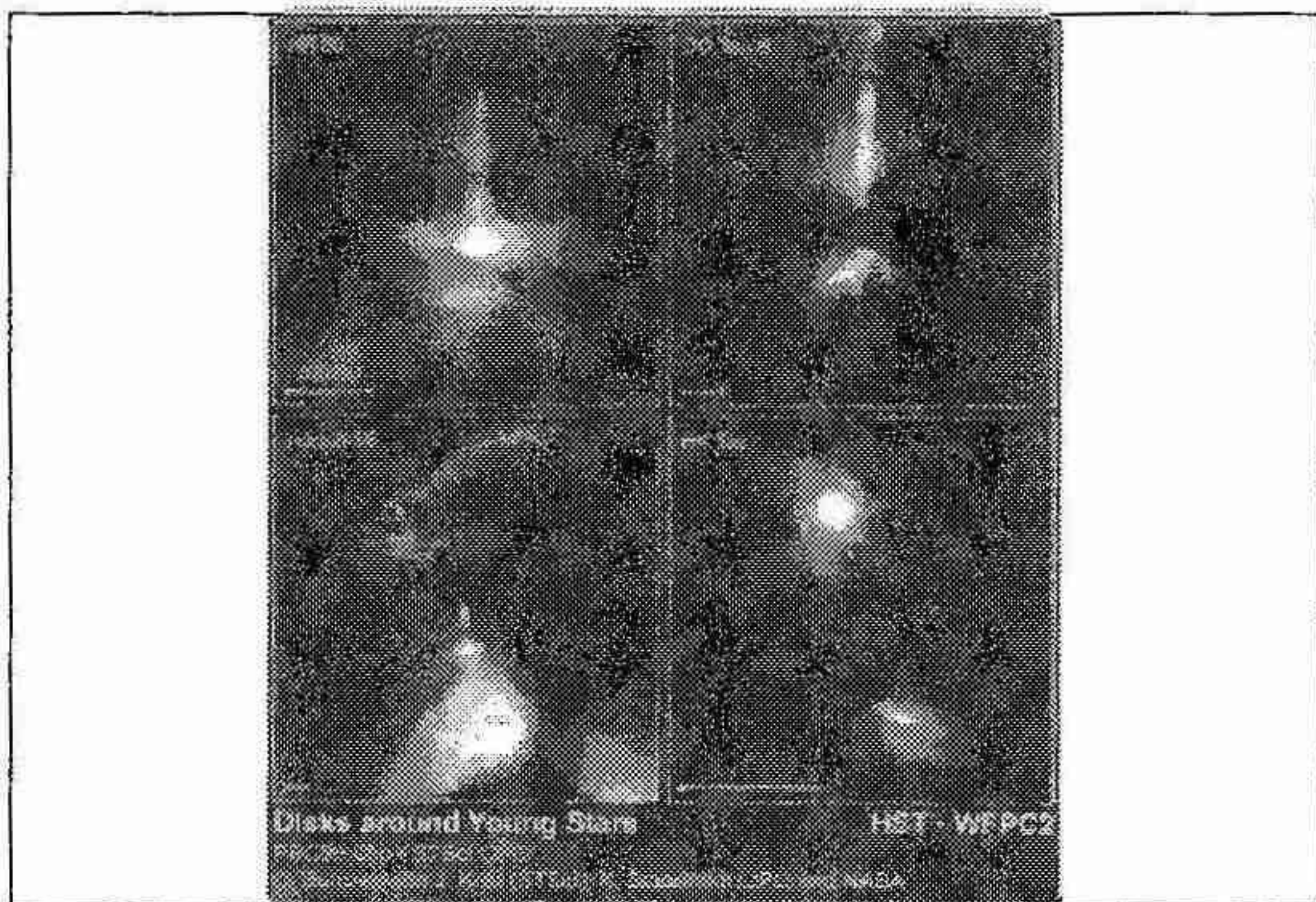


太陽系の形成過程



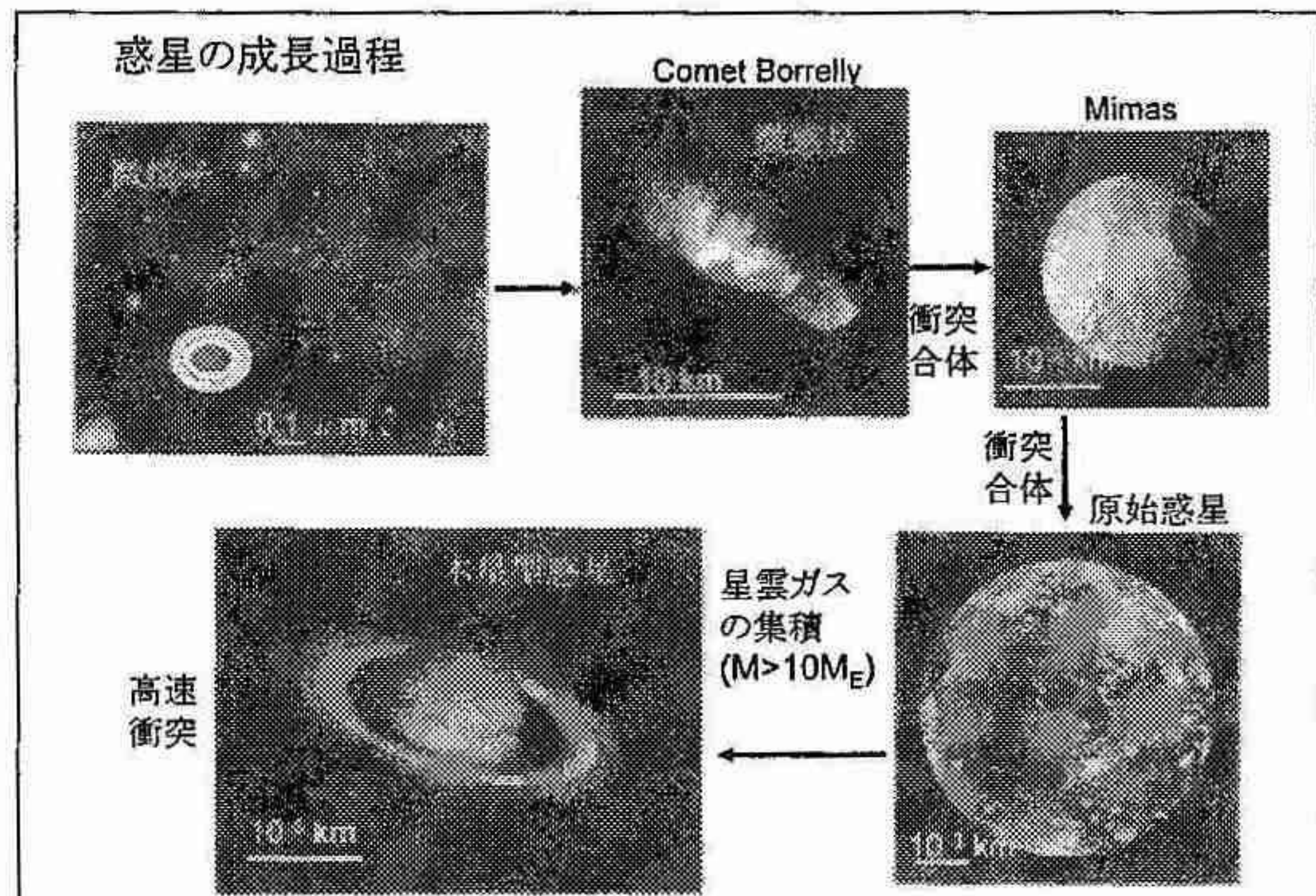
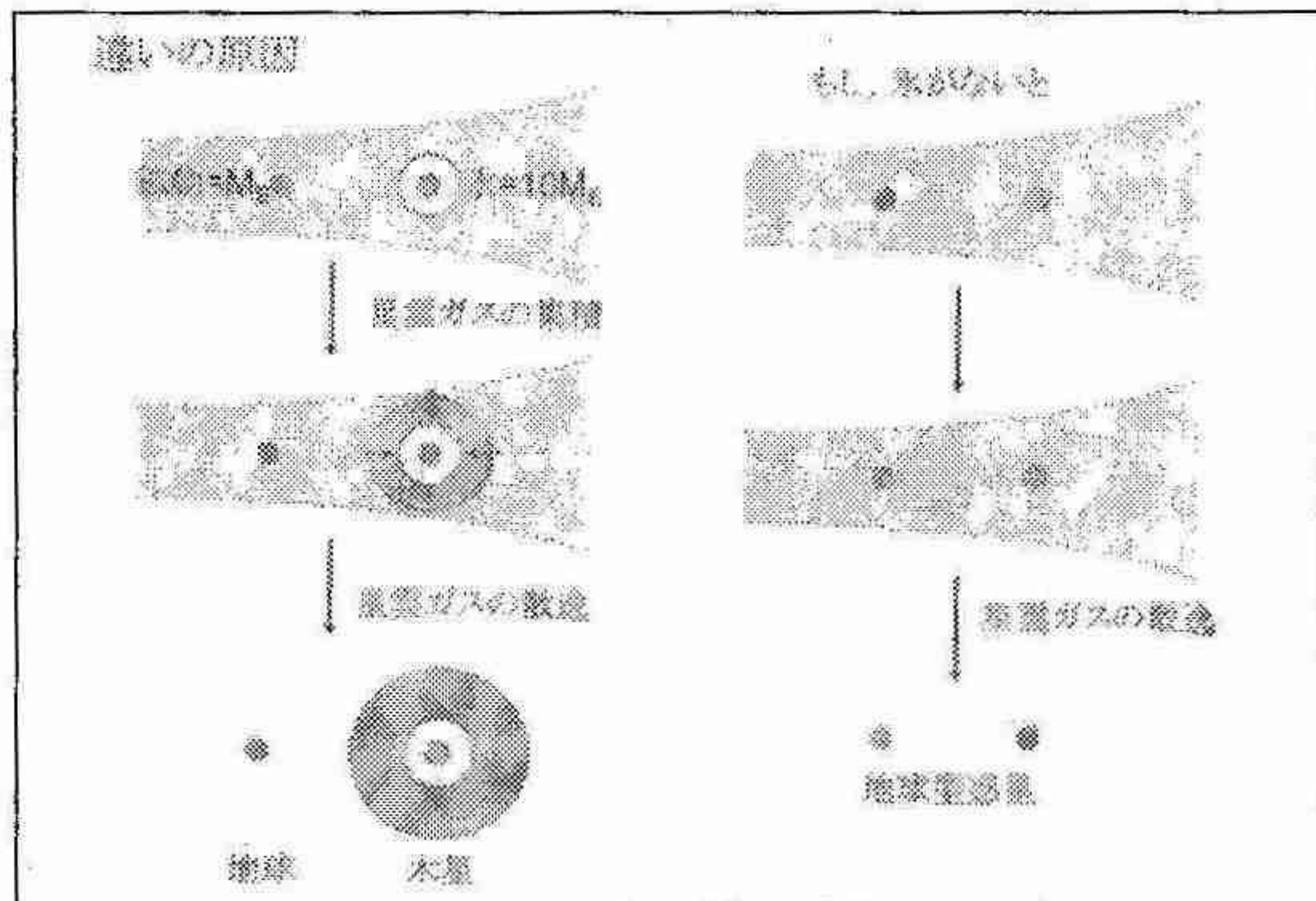
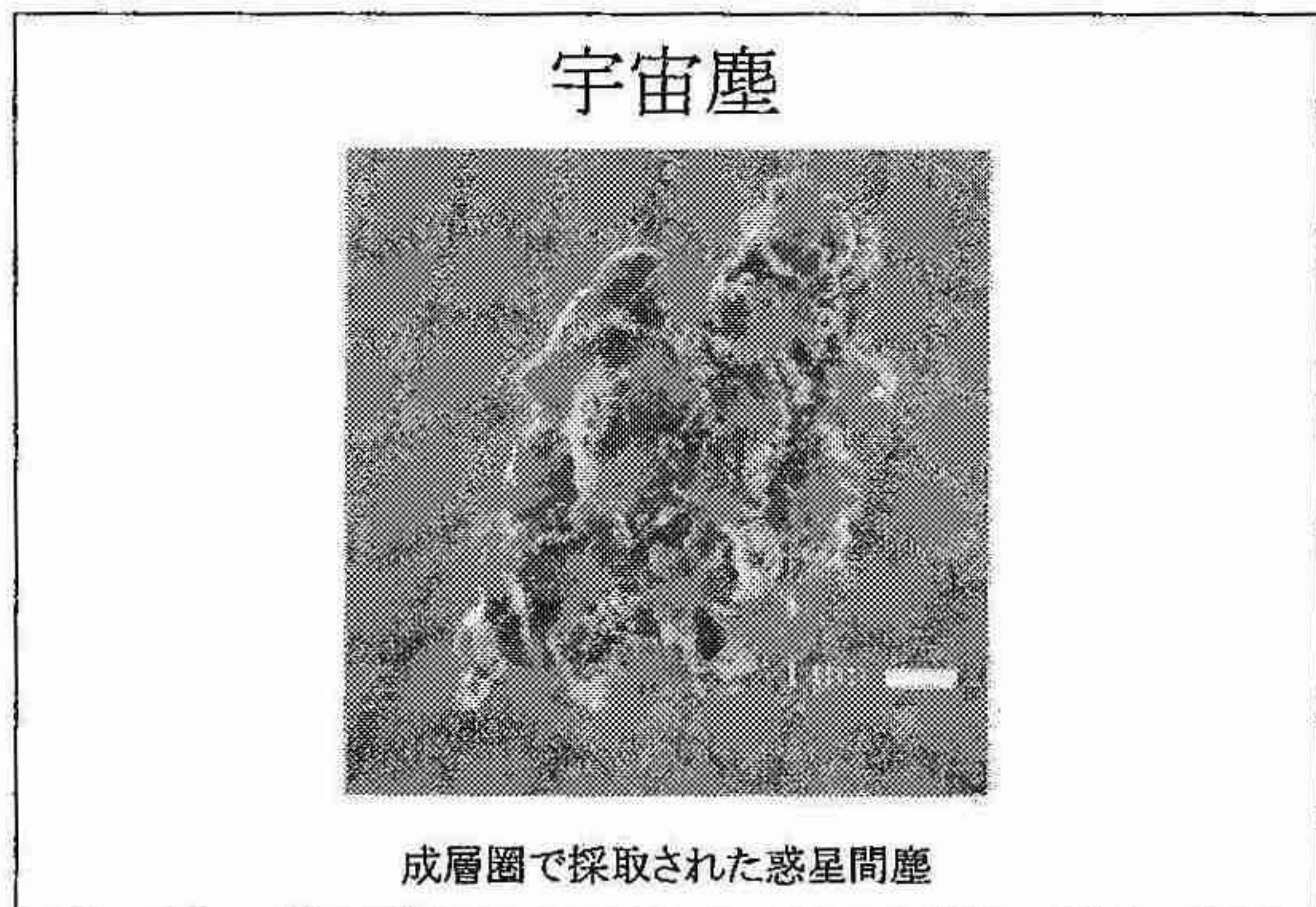
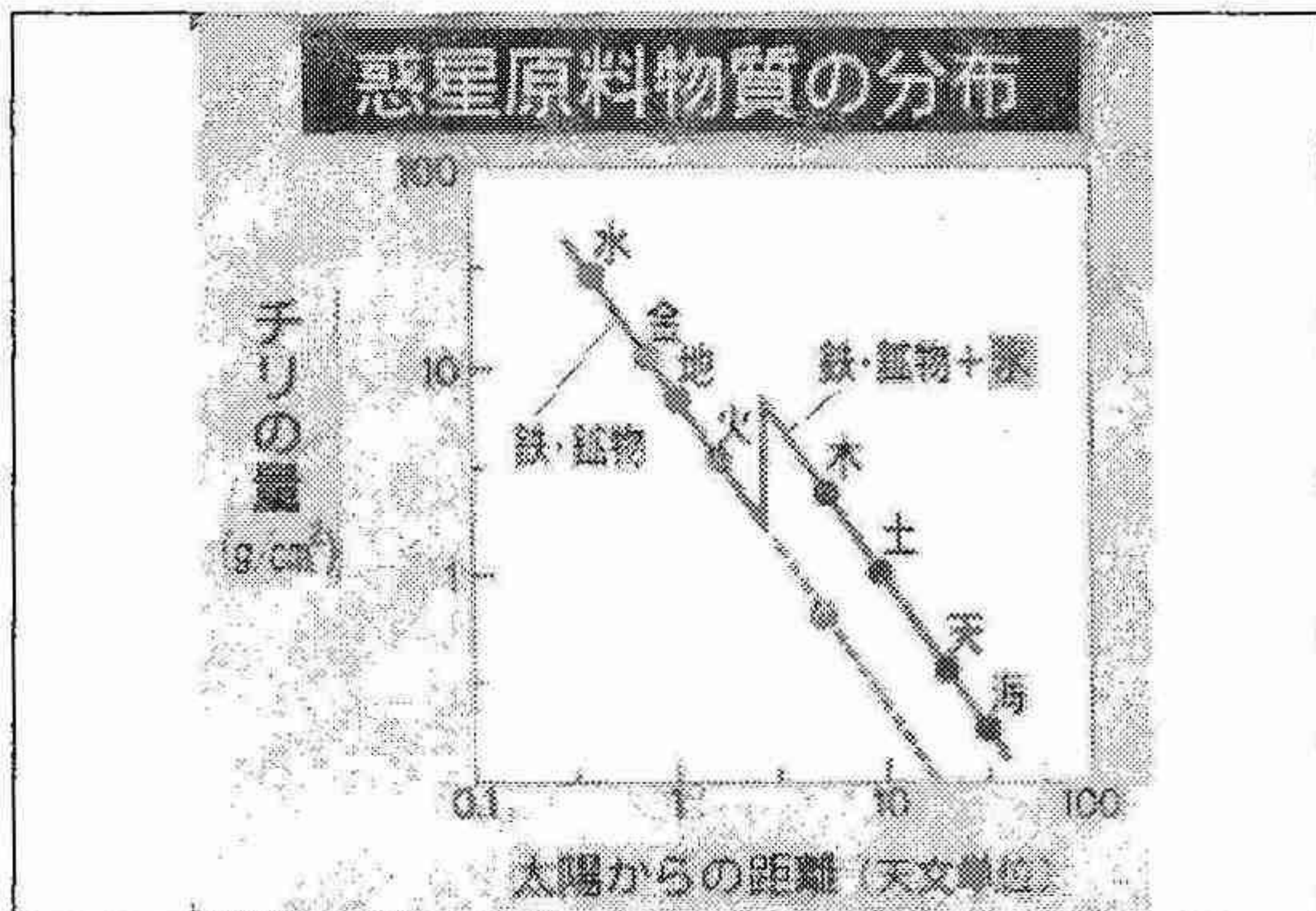
太陽系の誕生



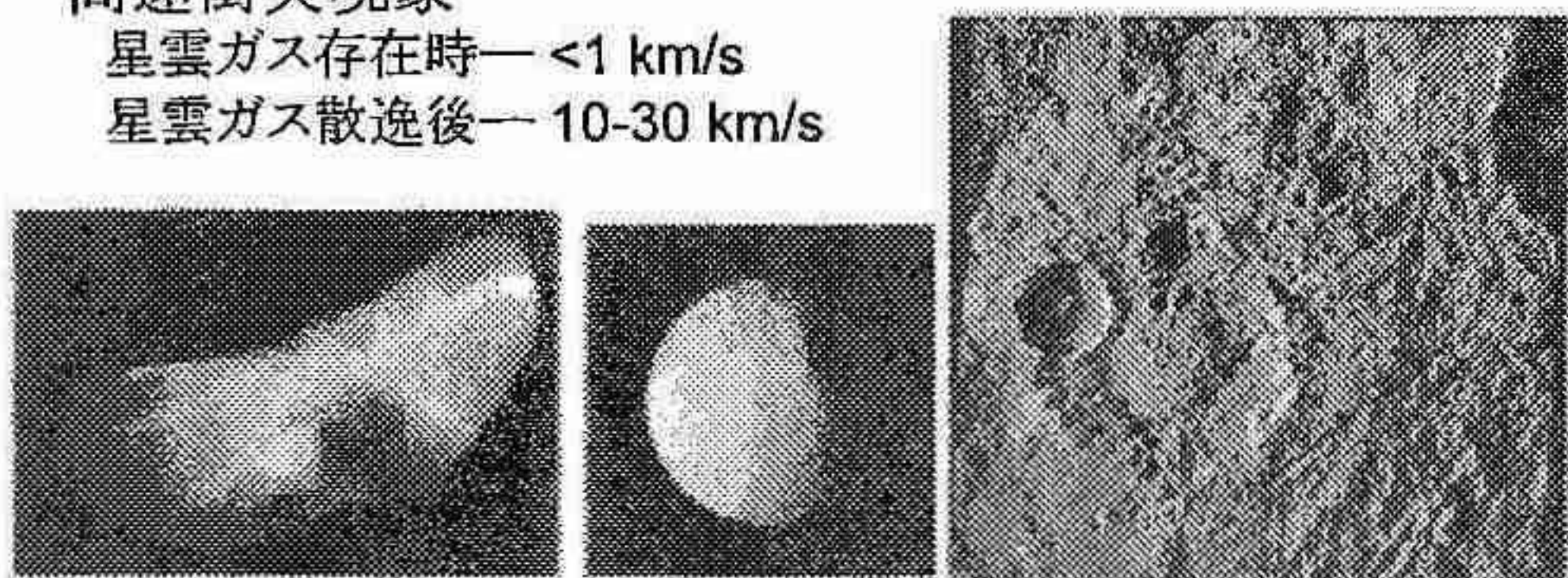


ダストから惑星へ

- 「塵が積もって惑星となる」
- ダスト粒子が衝突して本当にくっつくのか？
 - 衝突付着 or 破壊
 - その条件は？
 - 理論的に惑星が形成できるか？
 - 惑星形成論の未解決問題



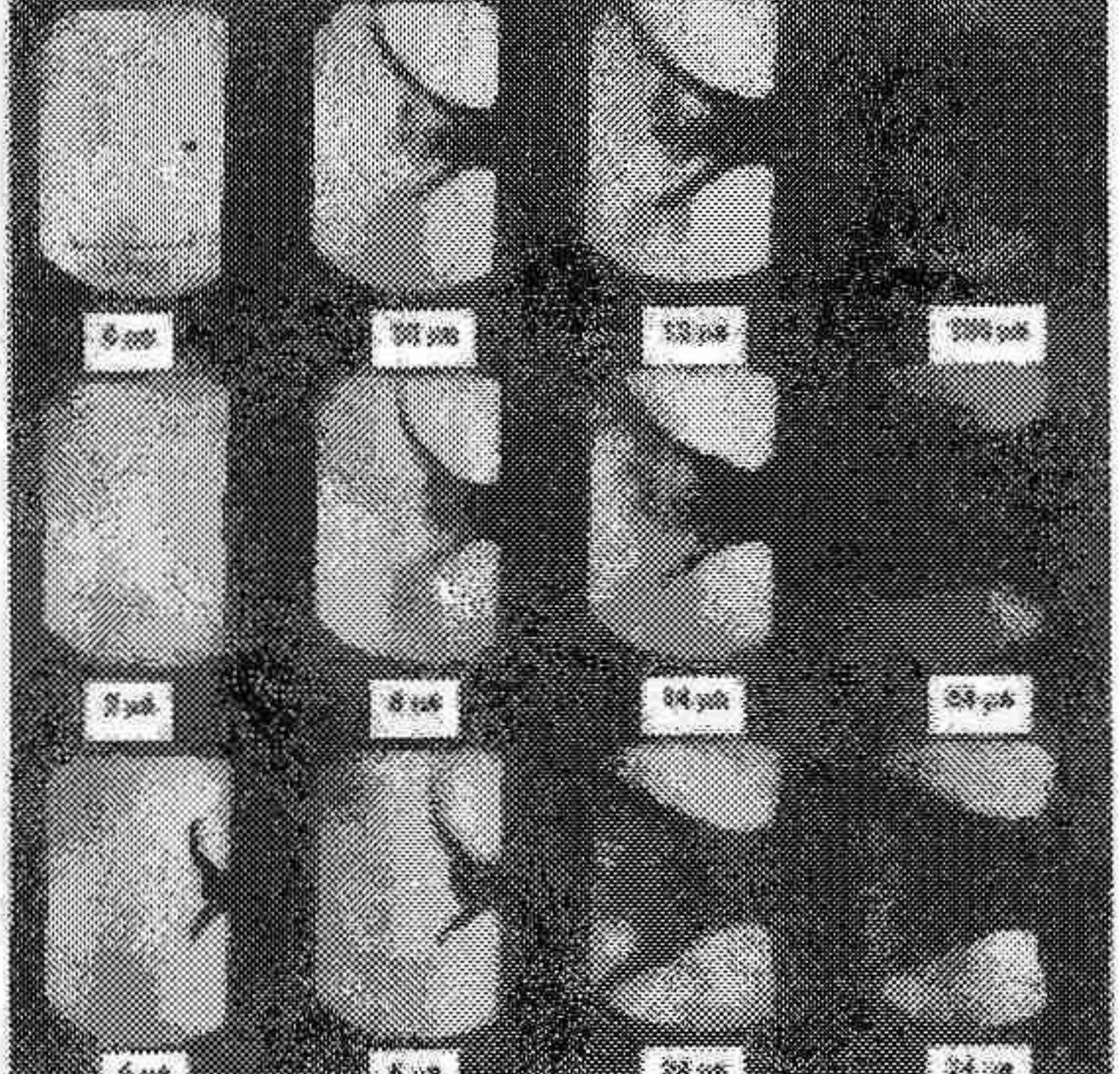
高速衝突現象
 星雲ガス存在時—<1 km/s
 星雲ガス散逸後—10-30 km/s



衝突破片の速度 > 天体の脱出速度
 ↓
 破片は飛び出す(成長しない)

低速—高速での氷の衝突実験

標的: 氷
 弾丸: プラスティック
 温度: -20 °C
 速度: 5 km/s




衝突実験装置

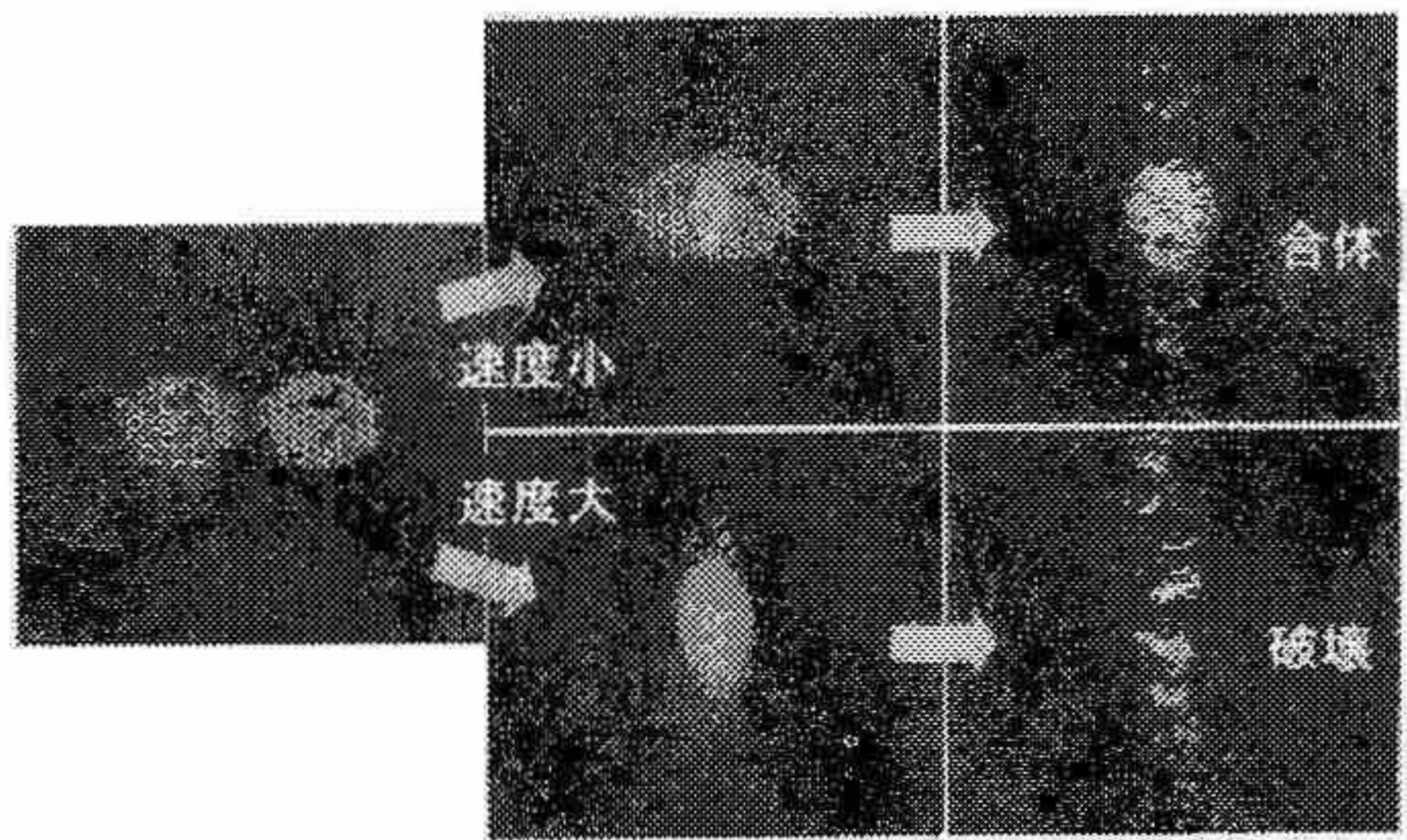
1段式加速装置
 1段—Heガス→
 1 km/sまで加速

高速度カメラ
 100 ns 間隔の撮影

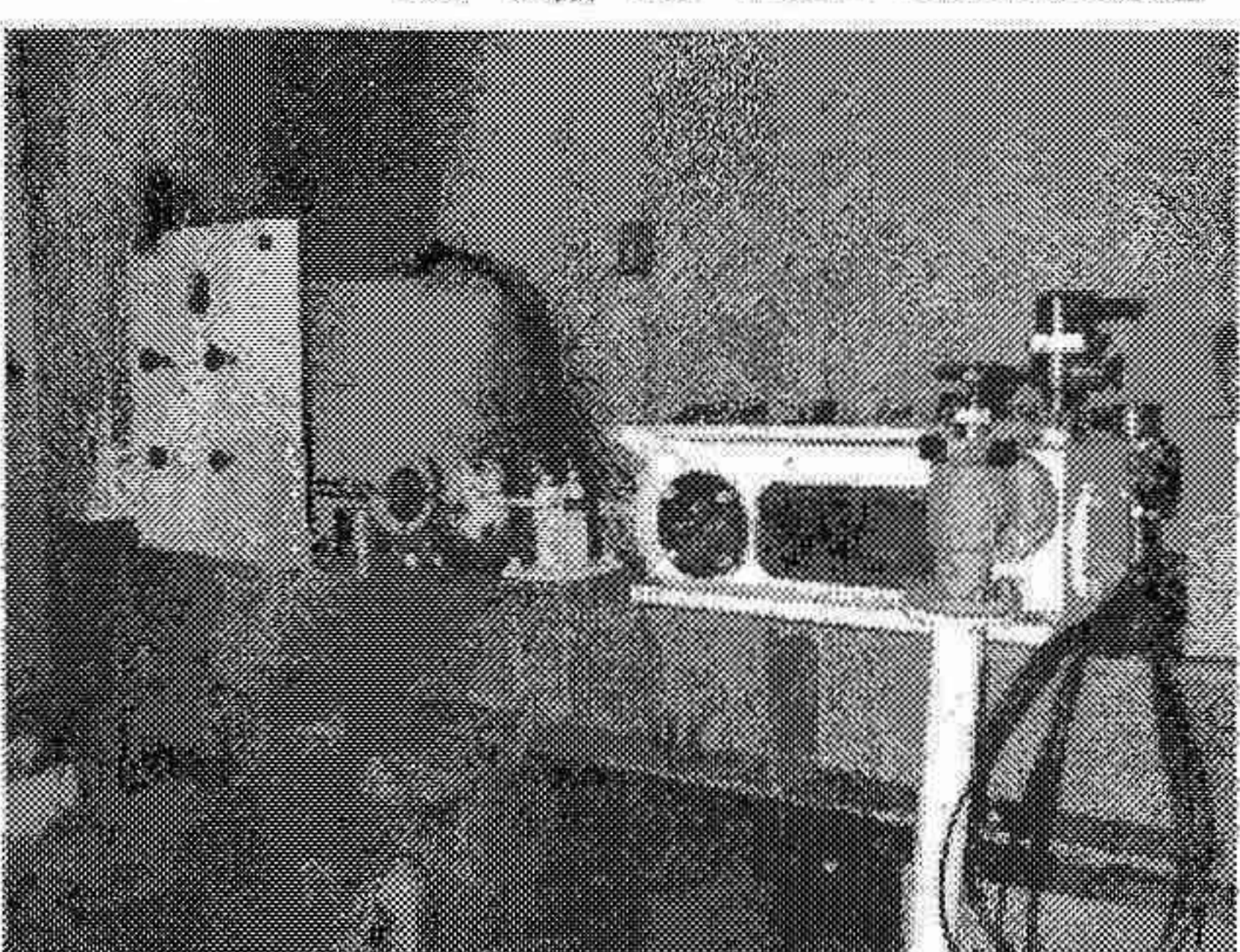
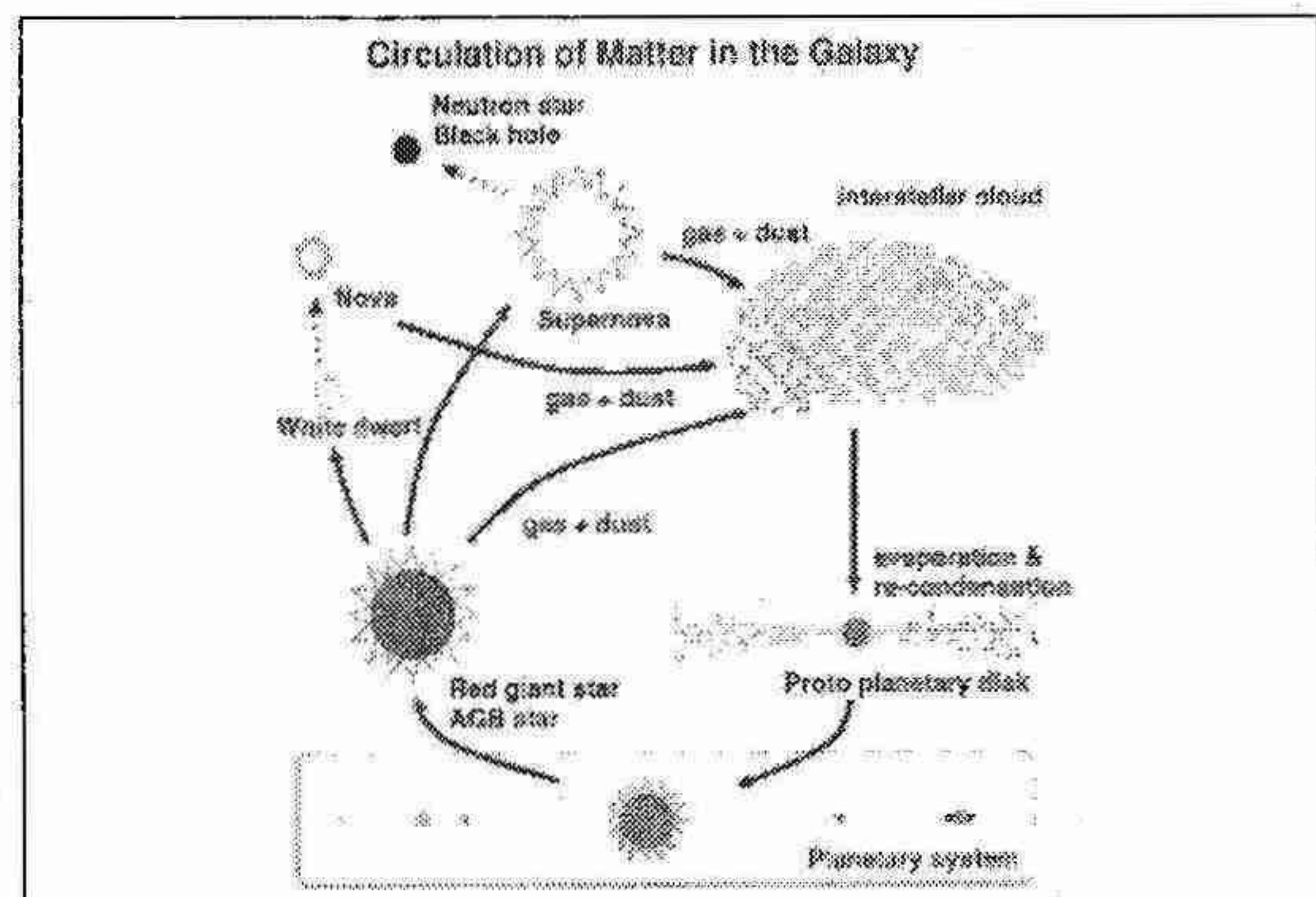
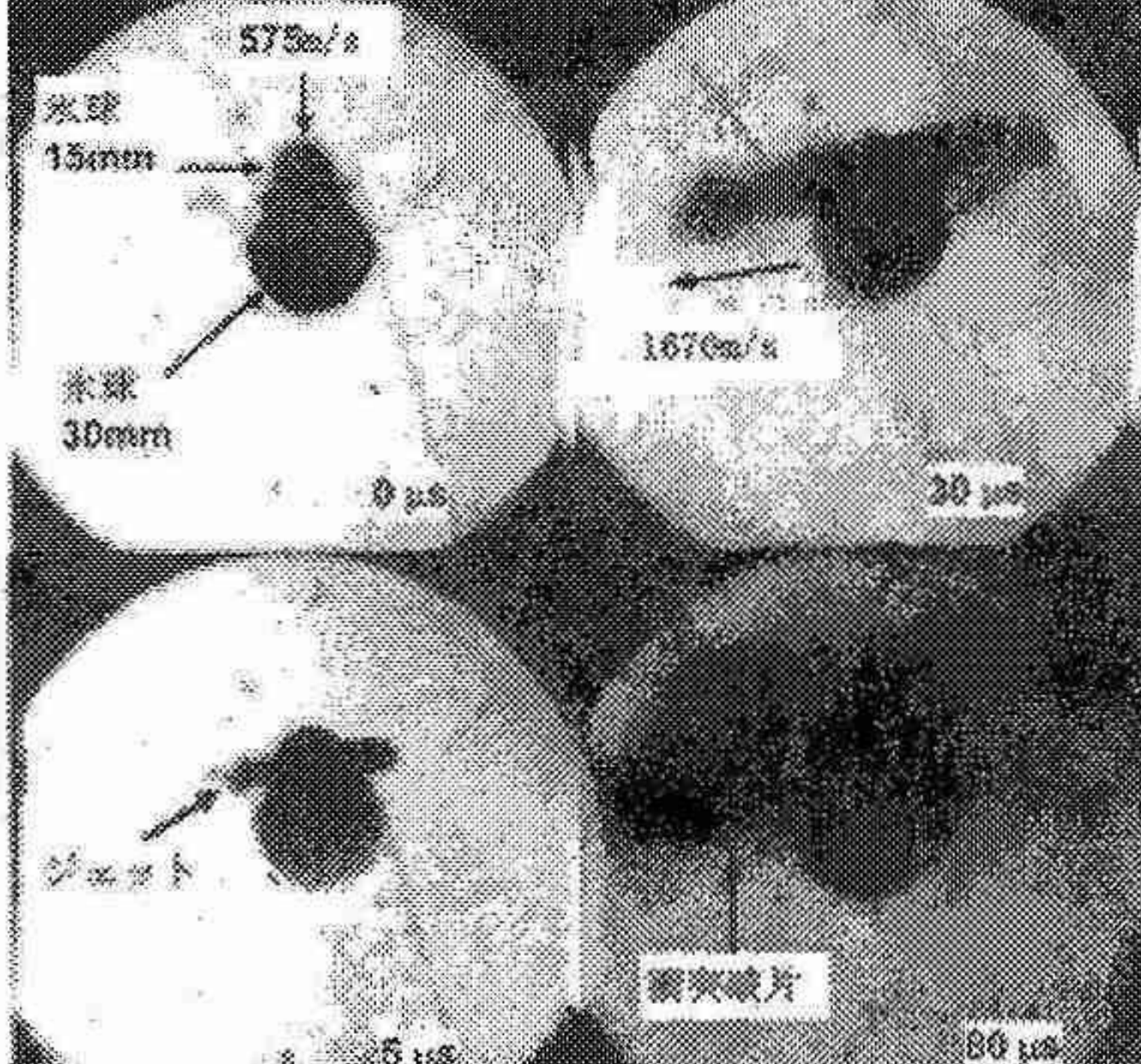
低温室(常温—30°C)



ダスト・アグリゲートの衝突シミュレーション



2段式加速装置 1段—火薬・2段—Heガス→5 km/sまで加速

宇宙物質進化

私は誰?
 ここはどこ?
 私はどこへ?

宇宙における人間の位置づけと進化のシナリオ

素粒子/核/原子/ダスト/星・惑星/生命

第2の地球, 宇宙生命
 原子が思考力をもつに至った過程