

## 海洋気象学の課題と展望\*

浅井 富雄\*\*

## 1. はじめに

“海洋気象学がめざすものは、まず海面における物理量・物質の交換の大きさを決定するとともに、その交換の物理過程を明らかにすることである。海面から大気に与えられた物理量は乱れと対流により次第に上層に運ばれ、やがて大規模な大気の構造と運動を支配する。同じようなことが下向きに海洋中でも行なわれている。この過程を明確にすることも課題の一つである。そして、このように起こされた大気および海洋中の大規模な運動は海面近くの気象状況や海況を変え、そこにおける交換量を変動させる。こうした、大気の変動に対する海洋の応答、海洋の変動に対する大気の応答、そして最後に大気と海洋を合わせたものを一つの物理系として、その変動のメカニズムを明らかにすることが海洋気象学の大きな課題である”と小倉(1975)は海洋学講座第3巻「海洋気象」巻頭の「展望」で述べている。このように、海洋気象学は大気・海洋間の相互作用を中心に据え、それにかかわるスケールの異なる種々の運動とそれらの相互作用を通して、緊密に結びつきながら変動する一つの流体地球系として大気と海洋を把握し、その短期・長期さまざまな変動を解明することを窮極の目的としている。それは、また、大気物理学や海洋物理学の重要課題そのものでもある。

大気物理学と海洋物理学を統合することのメリットとして、同一の基本的な原理が両者の多くの現象に適用できることがあげられる。すなわち、両者とも回転する地球の表面近くの流体の物性や運動に関する学問であり、

たとえば、静力学平衡、力学的安定性、コリオリ効果、地衡流、渦度、発散などもろもろの概念は両者に共通である。特定の概念を異なる現象に適用することは、その概念の内容をより豊かにし、また、その概念をより一般化・抽象化するのに寄与するであろう。今日、地球流体力学と呼ばれる分野がそれである。しかしながら、大気・海洋系物理の真の意義や面白味は、大気と海洋がエネルギー、運動量、物質などを交換しながら応答しつつ流転するところにあるであろう。そこには、問題を複雑にし、その解明を困難にする泣きどころがあると同時に、そこから汲めども尽きぬ滋味があふれてくる。

“火星や金星の気象学は地球の気象学よりはるかに単純であろう。なぜなら、地球には海があるから”といった宇宙物理学者の言は簡にして要を得ている。

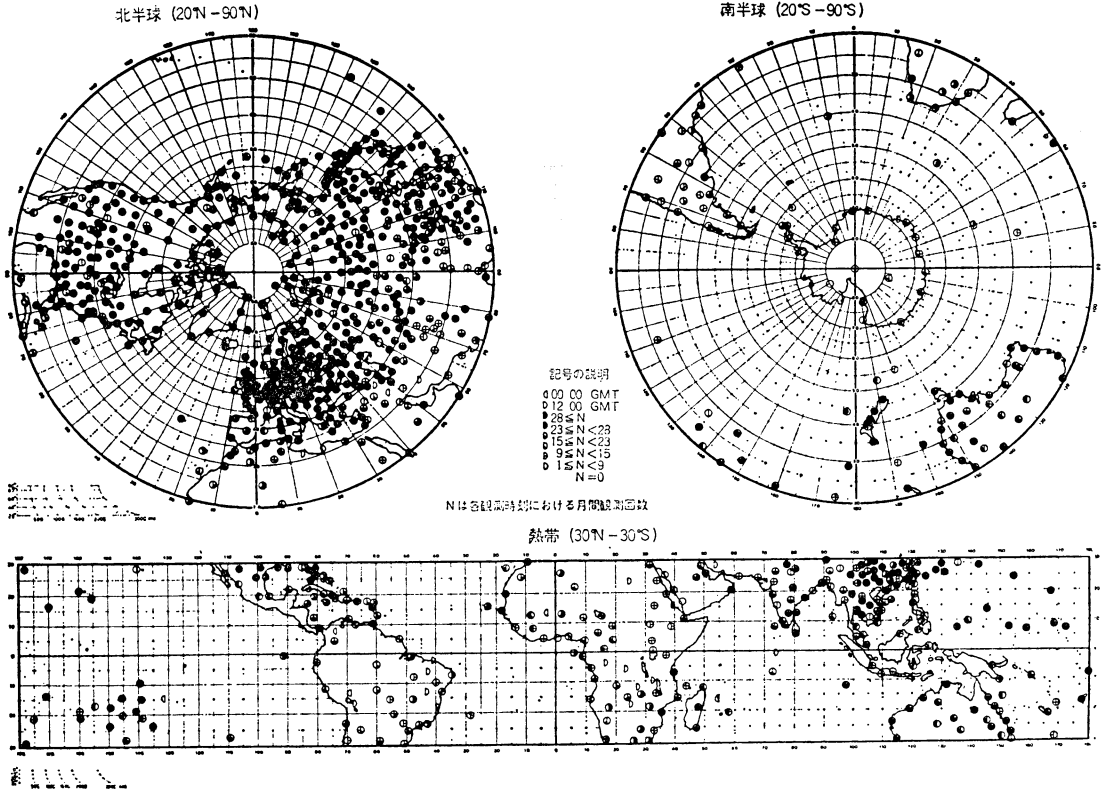
## 2. 海上気象学から大気・海洋系の物理科学へ

北ヨーロッパなどの海洋民族諸国で気象学は海洋学と歩調を揃えて発展した。航海や漁業という生活上の必要から、当然海況や海上気象についての知識が要求されたことであろう。地球表面の70%を占める海洋上の気象の知識なしに地球大気の科学の進歩はあり得ず、気象学と海洋学の協調は学問的にも好ましい自然な展開であった。しかしながら、その後、最近に至るまで、気象学と海洋学はたがいかなりの距離をおいて別々に発展してきた。その理由の一つは、気象観測の面としての拡大は大陸や島の上に限られ、海洋へよりはむしろ上層へ多くの目が向けられたことである。

高層気象観測網の発達は陸上に限られはしたが、気象学を近代科学の一分野として脱皮させ、今日の大気物理学の基礎を築きあげるのに最も大きな推進力となってきた。参考のために、最近の高層気象観測点の世界的な分布を第1図に示しておく。気象学や気象業務においては、世界的な観測網とともに得られた観測資料を迅速に収集整理することが重要であることはいうまでもない。

\* Prospects of Marine Meteorology この解説は号外海洋科学(1978, Vol 1, No. 1), 海洋学——その課題と展望——より海洋科学編集部(海洋出版株式会社)の許可を得て、内容を一部変更の上、転載するものです。

\*\* T. Asai, 東京大学海洋研究所。



第1図 1970年6月、世界気象中枢（ワシントン）で定常業務として収集されたラジオゾンデおよび／あるいはレーウィン観測点の分布。記号Nは観測時における1カ月中の観測回数を示す。

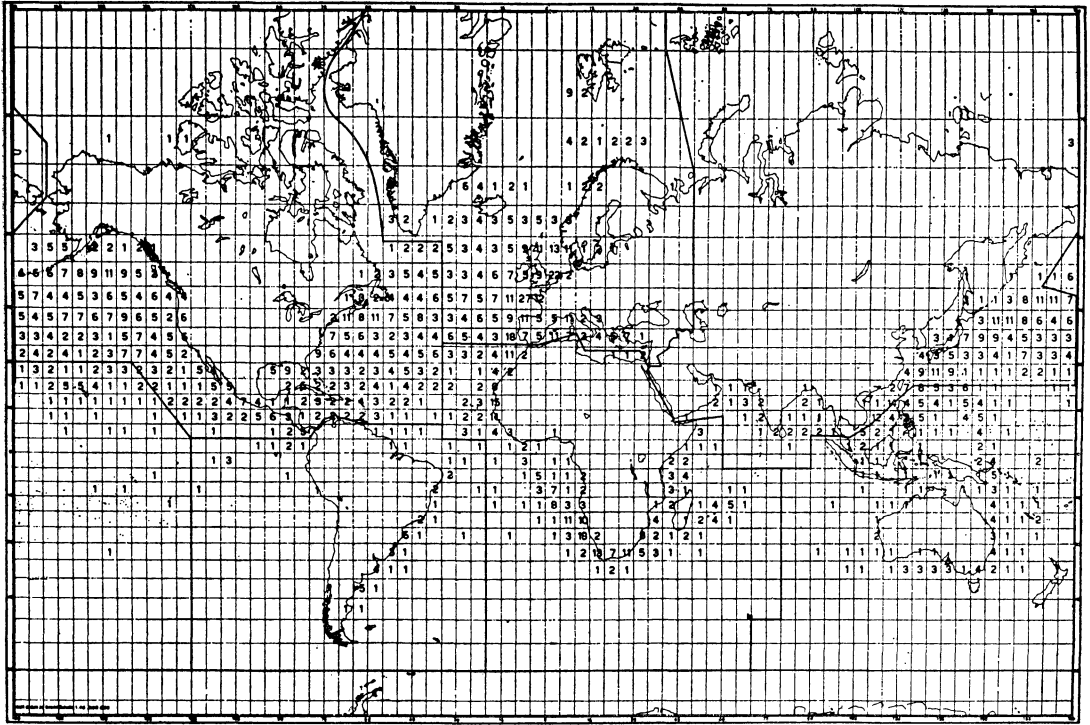
そのため、今日、世界気象中枢（ワシントン、モスコウ、メルボルンの3カ所）、地域気象中枢（東京その他約10カ所）、国内気象中枢（各国1カ所）から成る国際気象通信網が確立している。

第1図は、1970年6月、世界気象中枢の一つワシントンで観測資料の得られた高層気象観測点の分布と、それぞれの地点における観測回数を示している。通常0時と12時（GMT）の1日2回観測が行なわれるが、地点によっては1日1回、または1カ月に10回以下というところもある。ヨーロッパ、北アメリカ、アジアの一部などの地域における観測網は、300~500 km 間隔によく整備されているが、その分布密度は南下するとともに急速に減じ、熱帯や南半球では観測点が著しく少ない。とりわけ顕著な事実、海洋上の観測が悉無に近い空白状態にあることである。海洋における気象観測の必要性・重要性が増大するゆえんである。

最近の調査によれば、船舶（主に商船）からの海上気

象観測報告の日平均個数は1969年には約5,000に達し、それより約10年前1957年の約1,000（Roll, 1965）に比し非常に増大している。第2図は、1967年9月上旬、船舶による定時一般海上気象観測の東西-南北各5度のます目内の日平均個数の分布を示している。20°N以北の海洋は比較的よくカバーされているが、20°Nから南下するにつれ、観測の乏しさは前述の高層気象観測点と同様に目立ってくる。一方、航行中の船舶の実数についての調査によると、20°N以南の観測の乏しさは、おもに航行する船舶の数の減少に起因している。しかし、国際気象通信システムを通して入手される20°N以南の観測個数650に比べて、はるかに多い3,250隻の船舶の航行が確認されており、国連の世界気象機関（WMO）の voluntary ship observation programme への参加をさらに働きかける余地が残されている。

ところで、これらの船舶のほとんどすべては海面付近の海上気象観測のみであり、海上の高層気象観測や海洋

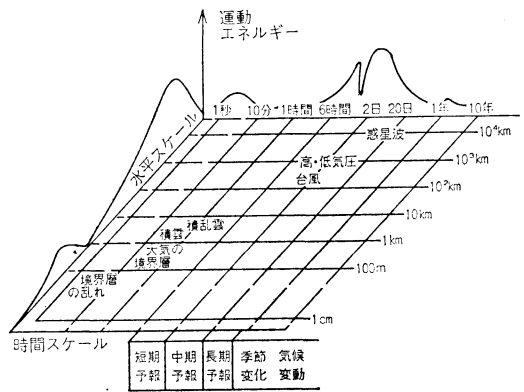


第2図 1967年9月1日～9日の隔日の5日間における船舶による気象観測の、各領域ごとの日平均個数の分布。

観測のためには専用観測船によるのが最も確実であるが、莫大な経費と人員を要し、その実現は不可能に近い。1960年代に登場した気象衛星による遠隔観測が、ブイとともにこのギャップを埋める最も有力な観測手段であり、現在通常の観測システムに組み込まれつつあり、今後それは気象・海象観測システムとして不可欠なものとなるであろう。

気象事業は、ルーチン気象観測と天気予報を主要な業務として発達し、気象学も気象事業と不可分離の関係で一体として発展してきた。その結果、社会的要請、実用性が性急に要求されるあまり、予測が先行し、気象学は即天気予報という形で発展してきた面がある。中緯度帯において1～2日の天候の推移を支配する温帯性低気圧や高気圧に関する知識が豊富になった1950年代は、また、大気中には異なる空間・時間スケールをもつ種々の現象が生起していることを明確に認識するようになった時代でもあり、大気の科学へ脱皮し飛躍する時期でもある。

第3図は、大気中で観測される種々の現象のなかのいくつかの代表例と、それぞれの空間（水平）スケールと時間スケールを模式的に示している。惑星波のような



第3図 種々の時間・空間スケールをもったいくつかの大気現象の例。

～10<sup>4</sup> km に達する全地球規模のものから、～10<sup>3</sup> km の高・低気圧、積雲のような～1 km のもの、～1 m の風の乱れ、微視的な雨滴の生成過程、放射の吸収や散乱などの分子規模の現象にまで及んでいる。時間スケールにしても、秒以下の規模のものから季節変動、年々の変動、

そしてさらにもっと長期の気候変動までである。同様に、海洋現象にも小さな乱れや風波から内部波、慣性振動、海洋大循環に至るまで、多くの異なるスケールが含まれている。

1960年代に温帯性高低気圧の物理学的解明が進み、1日程度のいわゆる短期予報の基礎が固まると、やがておもな研究目標はつぎの二つに向けられる。実用的観点からいえば、(1)予報期間の延長と(2)局地予報であり、学問的側面からいえば、(1)大気大循環と(2)小中規模現象の機構の解明である。

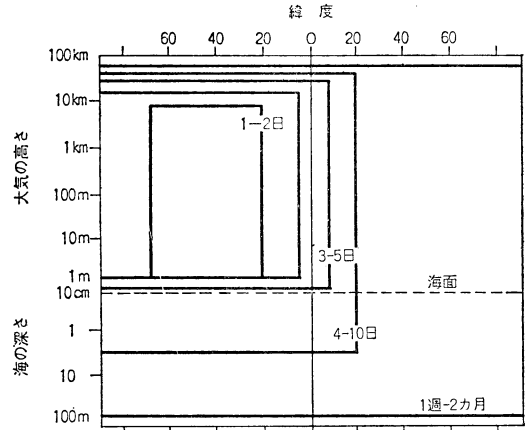
第4図は、北半球中緯度帯における天気予報を行なうとき、その予報期間と予報に必要な資料の観測領域とのおおよその関係を示している。1日程度の短期予報では、日本の場合極東域の気象観測資料で間に合ったのが、1週間～1カ月の予報ともなれば、全地球上の気象観測のみならず、少なくとも深さ～100mまでの海洋観測資料も必要となる。大気大循環の研究は、必然的に海洋変動の研究と結合せざるを得なくなる。

一方、中・小規模現象のなかで最も重要なものは降水を伴う現象である。とりわけ、激しい降水は局地的現象として起こる。降水現象の予測は実用面からの重要性はいうまでもないが、湿潤大気物理学は大気科学の真髄であり、地球科学における水循環の最も重要な部分である。これら二つの問題はスケールの観点からは非常に異なっているが、大気・海洋系の接合部という共通点を持っている。

さまざまなスケールをもった現象が大気・海洋系に共存するという認識は、またそれらの現象が個々別々に孤立して形成するのではなく、たがいに密接に関連し合っているということを確認させた。大気大循環、その長時間平均状態として把握される気候とその変動、降水を伴う中小規模擾乱などは、ともに、多様な素過程および大小さまざまなスケールの現象の複合過程としての典型例である。

### 3. 大循環の解明と国際共同研究

前章で述べたように、大気・海洋現象の機構を明らかにし、天気予報の精度を向上させるためには、その前提条件として全地球上にひろがる気象観測網が必要である。この観点から世界各国の気象機関は、世界気象機関(WMO)を通じて相互に協力し合う体制をとっている。しかし、既存の観測網は先進国に集中し、発展途上国や広い海洋上の観測網はきわめて不十分な状態にあることは上述の通りである。このことが、大気物理学の基礎お



第4図 種々の予報期間に対して、中緯度帯の天気予報に必要とされる観測資料の領域。

よび応用面のよりいっそうの発展を妨げる障害となっていたのである。

1960年4月気象衛星タイロス1号によって、はじめて地球上の雲写真が撮影され、人工衛星が全地球上をおおうことのできる有力な気象観測手段であることが認識されるにいたり、1961年12月国連はWMOおよび国際科学連合会議(ICSU)に対して、宇宙開発の一環として、大気大循環の物理機構を明らかにすることによって天気予報の精度向上と予報期間の延長をはかり、ひいては気候とその変動を支配する機構の解明を可能にするための方策を講ずることを勧告した。これに応じてWMOは、気象衛星による観測を中核とする全地球上の観測網の強化と、気象用の通信網の整備を目標とする世界気象監視計画(WWW)を立案し、すでに実施している。

また、ICSUは大気物理学の研究面から国連の要請に応えるべく、1967年に地球大気開発計画(Global Atmospheric Research Programme, 略称GARP)を立案した。ICSUとWMOは、GARP合同組織委員会(JOC)を設置し、これが中心となって多くの国際共同研究を現在実施中である。

GARPのなかで最も重要な計画は、通常気象観測の他に、多数の気象衛星、観測用航空機に加え、とくに海洋上の観測として、観測ブイや観測船その他の船舶を動員して全地球上にわたって大気の大循環の詳しい実態を把握することを目標とする全地球観測計画(First GARP Global Experiment, FGGE)であり、これは1979年に実施が予定されている。日本もFGGEに参加して

おり、1977年7月14日に打ち上げられた静止気象衛星“ひまわり”による観測はその一つである。

FGGE 実施に先立って、あるいは併行して、大循環の部分機構の解明のために、いくつかの副計画が実施されている。

これらの内容については、本誌 GARP 関係の記事を通して周知のことと思うので割愛するが、これら副計画には、AMTEX (Air Mass Transformation Experiment), JASIN (Joint Air-Sea Interaction Experiment) などの如き大気-海洋相互作用の研究を主目的としたもの他にも、多かれ少なかれ大気-海洋間のエネルギー交換など海・気相互作用にかかわる研究課題が含まれていることに注目すべきである。1960年代に入って、GARP副計画の他にも、BOMEX (Barbados Oceanographic and Meteorological Experiment), JONSWAP (Joint North Sea Wave Project), ATEX (Atlantic Trade Wind Experiment), IFYGL (International Field Year of the Great Lakes) など海(湖)-気境界層に関する大がかりな野外観測が実施されてきた。これらに共通している特徴は、これまでの境界層観測と異なり、各種スケールの擾乱の相互作用に大きな関心の向けられつつある点である。

4. 気候変動と環境問題

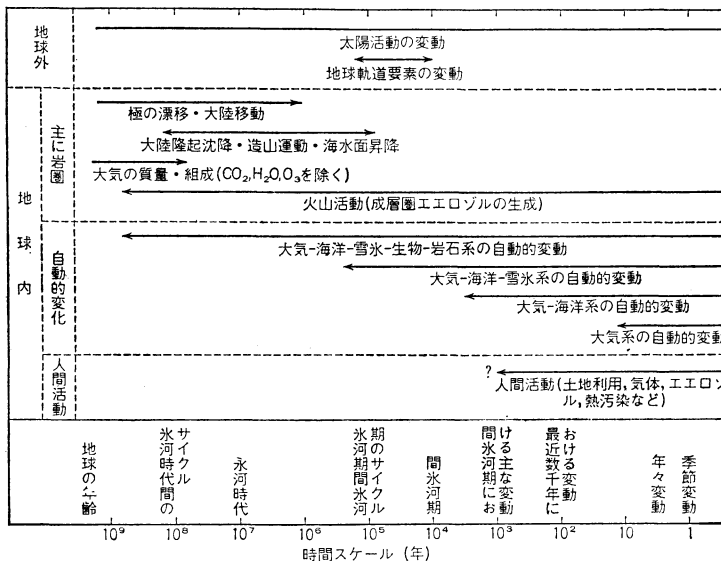
近年における人間活動の飛躍的拡大は、今日いわゆる

環境問題、食糧・エネルギー問題を生み出し、大気・海洋系の科学に新しい社会的任務を課すに至った。都市域に集中した人間活動は、すでに局地的な大気や海洋汚染をもたらし、都市気候や沿岸海況に変化も現われつつある。

地球全体に拡がったエアロゾル、二酸化炭素などの増加は、大気・海洋系におけるエネルギーの変換と循環過程に影響を与えずにはおかないであろう。かりに大気中の二酸化炭素濃度が倍増した場合、地上の平均気温は約3°C上昇するという推定もある (Manabe・Wetherald, 1974)。もっとも、人間活動により放出された二酸化炭素がすべて大気中で増加となるわけではなく、海洋や生物との交換も考慮されねばならない。

上述のように、人間活動のもろもろの作用が微妙なバランスにある気候を好ましくない方向へ変動させ、ふたたび元の状態へ戻せなくなるのではないかという危惧があるにもかかわらず、気候変動の機構に関するわれわれの知識は非常に乏しい。

地球の誕生以来何度かの氷河時代を経、その間にそれぞれ幾度も氷河期のサイクルを繰り返しつつ今日に至っており、現在は少なくとも200万年前からの氷河時代に位置するものと推定されている。現在の氷河時代も、10万年のオーダで氷河期、間氷河期が繰り返されており、間氷河期は今日まですでに1万年続いている。この

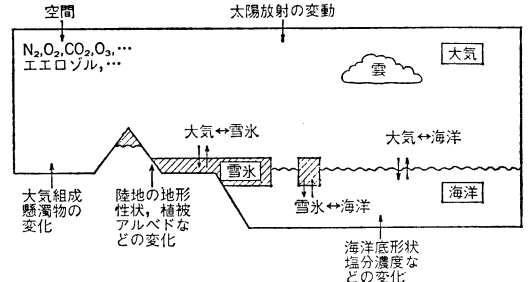


第5図 気候変動の特徴的な時間スケール (下段) とそれぞれの気候変動に関与すると考えられる過程。

1万年の温暖期にも、氷河の拡大、縮小がそれぞれ、1,000~2,000年の時間スケールで3度繰り返され、さらに最近では、西暦1500~1850年の350年間は小氷河期と呼ばれる比較的寒冷な気候の時期であった。したがって、過去1,000年にわたって考えると現在は温暖期に相当していることになる。時間スケールをさらに短かくしてみると、今世紀に入って北半球の平均気温は上昇傾向がみられ、1940年ごろをピークとしてその後ふたたび寒冷化が始まり、今日に至っている。上述のように、気候変動には種々の時間スケールの変動が見出され、時間スケールにより気候変動の性状やその原因も異なるので、観測された気候変動に対応する時間スケールとそれに関与するおもな諸過程を第5図に示しておく。

1940年代から現在に至る寒冷化の傾向は、北半球の高緯度地方では認められるが低緯度地方では見出されない。したがって、北半球の南北の気温勾配は増大し、ひいては南北流を伴う偏西風帯の波動が増幅される傾向にある。それに対応して、最近のように、中緯度帯では気象状態の極値が大きいかつ頻繁に現われることが予想される。また、中緯度帯での気候の年々の変動や異常気象は、偏西風帯の波動の準停滞成分の東西方向の変位と結びついて現われることが多い。この変位は平年と異なる経度に寒冷な極気団の流入を、他の平年と異なる経度に温暖な熱帯気団の流入をもたらす。その結果、緯度圏に沿う方向に温暖、寒冷、洪水、干ばつなどの地域的な異常気象パターンが形成される。しかしながら、このような変動が、熱帯モンスーン地域の最近の異常、つまりアフリカ・アジアにおける広範囲の干ばつ、ペルー沖の El Niño 現象と直接結びつけるか否かは不明であるが、海面水温の分布や大陸上の雪氷分布の異常パターンと準停滞波の東西変位を結びつけようという試みがある。

世界各地で気象観測が始まって以来100~200年を経た今日、これまでの記述的気候学が物理学的気候学へ歩み始めたのである。一般に、気候系は気圏、水圏、雪氷圏、岩圏、生物圏の5つの成分系から構成されている。地球の気体から成る気圏は最も変動に富んだ部分で、1カ月程度の熱的調整時間、あるいは応答時間ともいべき特徴的な時間スケールをもっている。すなわち、ある温度分布が与えられると、大気は熱の鉛直・水平輸送によってその分布にはぼ1カ月かかって調節しようとする。地球上に分布する液体から成る水圏には、海洋、湖沼、河川、地下水などがある。とりわけ海洋は、地球に降り注ぐ太陽放射の大部分を吸収し、大きい熱容量のため巨大



第6図 大気・海洋・雪氷から成る気候系の概念図。二は系内相互作用、一は外因。

なエネルギー貯蔵庫として気候にとって非常に重要な部分である。海洋の上層部は、数カ月~数年の時間スケールで大気や氷と相互作用をもち、一方、深層水は数百年の時間スケールで熱的調節を行なう。地球上の氷塊と積雪から成る雪氷圏は、大陸氷床、山岳氷河、海氷、湖沼・河川氷、積雪などを含んでいる。積雪や海氷の拡がりには主として季節的であるが、氷河や氷床はもっと緩慢に応答する。岩圏には、山岳、海洋底、岩石、堆積物、土壌などが含まれる。これらの様相は気候系のなかで通常最も長い時間スケールで変化する。生物圏には、陸海空中の動植物、もちろん人間も含まれる。これらの応答特性は広範囲にわたるが、気候に対しては敏感であり、また逆に気候に影響を及ぼす。地上植物の自然的な変化は、気温や降水量の変化に応答して数十年から数千年の期間にわたって起こり、他方、また地表のアルベド(反射能)、粗度、蒸発量、地下水理を変える。動物集団の変化も食糧や棲息地を通して気候変化を反映している。農業や牧畜は少なくとも地域の気候を変化させることに寄与し得るであろう。

地球を取り囲んでいる気体、液体、雪氷から成る部分を内部気候系とするならば、その下の地面や上の空間を外部気候系とみなすことができ、そのとき、地面の形状や太陽の状態は、内部気候系に対するいわば境界条件となる(第6図)。内部気候系を単に気候系と呼ぶことにすると、外部気候系である境界条件の変化は、気候変動の外因として働く気候の外力とみなされる。外力は気候によって緩慢にしか、あるいはまったく影響されない。目的によっては気候系を大気と海洋だけに限定したり、さらに大気だけに限定することもでき、気候系と気候の外力との実際上の区別は、どのような時間スケールで気候変動を考えるかに依存する。

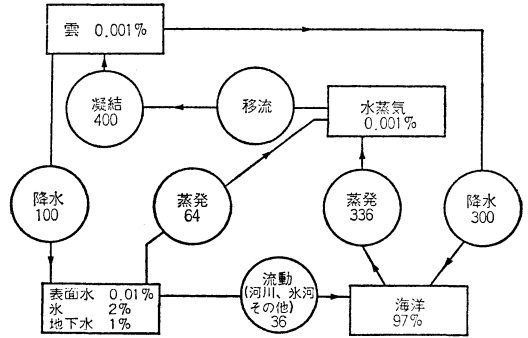
今後の重要研究課題の一つは、大気、海洋、雪氷から成る気候系において、系内で作動する各素過程間の相互作用、あるいはフィードバック機構、および外因に対する気候系の応答機構の解明であろう。たとえば、全球的な水の分布の変化は、大気の正味の加熱量を変え、大気の循環を駆動する南北方向の加熱勾配を変える。また、氷の融解によって生じた広範囲の塩分濃度変化が海洋表層水に導入され、それはひるがえって底層水の形成に密接に結びつけられる。このような過程は、1年～数千年の時間スケールにわたって気候系内の自己調節として働く。

この種の相互作用あるいはフィードバック機構は、しばしば相互に作用する物理量の値、あるいはその異常を一方向的に増大させたり減少させたりする。そして前者を正のフィードバック、後者を負のフィードバックと呼んでいる。フィードバック機構は、大気や海洋それぞれの内部、大気と海洋間などに多数存在する。海水面温度の変化は、海洋・大気間の顕熱、水蒸気の交換量を変え、それによって大気循環や雲量に影響を及ぼす。これはまた、放射熱収支と風による混合、移流、対流を通して海面温度を変える。そして、海面温度のはじめの変化量がある場合には増大させ、他の場合には減少させる。この過程も、大気・海洋系で作動するフィードバックの一例である。

5. 湿潤大気物理学と水の循環

今世紀初頭、V. Bjerknes らが天気予報は流体力学にその基礎を置くべきであることを説いて以来、半世紀を経た今日、ようやくその花が咲き始めた。すなわち、観測網の整備や諸技術の進歩の背景のもとで、気象力学はその基礎・骨組みをほぼ確立したとみられるであろう。ところで、大気はいうまでもなく熱的に活性な混合気体である。なかでも水蒸気は、きわめて活発な相変化を伴い、大気の運動に重要な役割を演じている。咲き揃った花を实らせるのが1960年代に本格的に始まった湿潤大気気象学である。

全球的な水の循環と平衡の状態は、第7図のようにまとめられる(たとえば Harvey, 1976)。たえず相変化し場所を変える水の循環は、種々の存在形態と変化過程から構成されている。地球表層に存在する水の総量は  $14 \times 10^{20}$  kg と見積もられているので、定常状態を仮定すれば、水の各形態における平均滞留時間を評価することができ、海洋における水の滞留時間は4,000年、地下水、氷、湖、河川など陸水を合わせて400年、大気中(水



第7図 水循環における水の形態(長方形)と過程(円)。各形態で存在する水の総量に対する割合を百分率で示し、各過程の変動率を  $10^{15}$ kg/year 単位で示す。

蒸気と雲)では10日となる。このように、地球上の水は蒸発、凝結、流動などの過程を通してお互いに移り変わり、相互に依存し合って循環している。

水の量としては大気中のそれは非常に少なく、全体の0.001%にしかないが、大気中の水蒸気含有量は他の物質に比べ、時と場所によって非常に大きく変動し、また、容易に凝結、昇華などの相変化を起こして水や氷となる。1グラムの水蒸気が凝結して水になるときには540~600カロリーの熱を放出し、逆に水が蒸発するときには同量の熱を奪う。蒸発や凝結を伴う水の循環は、同時に大気・海洋系におけるエネルギーの循環の重要な一部を荷っているのである。

大気中に含まれる水蒸気量は大きく変動するが、蒸発量や降水量も時と場所により著しく異なる。さらに、ある場所で蒸発した水蒸気がその場所に降水として戻るわけでもなく、したがって、吸熱域と放熱域とは一致しない。このように、地球上の各地域では水や熱の出入りが釣り合わず、この不均衡が大気や海洋の運動を誘起する原因の一つとなっている。一方、水蒸気の凝結、降水は大気の運動に伴って発生するので、やはり、ここにもフィードバック過程をみることができる。ここでとくに注意すべき点は、降水を伴う現象は非常に局地的であり、降水継続時間も短いことである。一般に、強い降水は、時間的・空間的スケールの小さい中小規模現象に伴われる。ここに湿潤大気物理学のユニークな側面がある。このもっとも顕著な例は台風と集中豪雨雪を伴う中規模対流現象であり、これらはまた、ともに気象災害をもたらす典型例ともなっている。

気象庁の統計によれば、第二次大戦後、日本で死者100名以上の大きな被害をもたらした気象災害は34件に達している。このうち、台風によるものが17件、集中豪雨（主として前線に伴う）によるものが14件、豪雪1件、温帯性低気圧2件となっており、日本における気象災害の主役は依然として台風であることに変わりはない。しかしながら、この統計を最近20年に限ると、その災害件数16件のうち、台風によるもの5件であるのに集中豪雨によるもの（うち2件は台風通過後に発生した集中豪雨）が9件にのぼり、最近の気象災害の原因は、集中豪雨が台風にとってかわりつつある。台風に伴う被害の減少傾向は、防災体制や技術の進歩に負うところが大きい。しかしながら、気象の観測・通信および解析の技術の発展に支えられて、台風の位置や強さに関する情報の敏速な入手が可能になったことを見逃すわけにはいかない。

北アメリカのハリケーン、インドのサイクロンなどとともに、台風は、熱帯性低気圧と呼ばれる最も強烈な気象擾乱であるがゆえに古来それらの構造や移動に関する多くの研究が積み上げられてきた。しかし、それらの大部分は地上での観測資料に基づくものであった。第二次大戦後、ラジオゾンデ、航空機やレーダ、また最近の人工衛星による観測は、台風の発生・発達過程、内部の三次元構造、移動に関する知識を増大させた。一方、条件付不安定な熱帯大気中で、対流雲群と大規模擾乱のある種の相補作用によって台風が発達し得るといふ台風発達機構に関する新しい理論も生まれ、台風の数値シミュレーションなどによる理論的研究も進展した。

1960年代に入って以来、アメリカの海洋大気庁（NOAA）は、ハリケーンの人工制御を旨とした積雲への種まき実験—自然のままでは氷晶の数が少ない過冷却部分に、氷晶化促進物質を撒布する一—を試行しつつある。しかしながら、その種まき実験の指導者の一人も述べているように、種まき実験の目的は、熱帯性低気圧の人工制御というよりも、個々の積雲がどのように振舞うかを定量的に知ることである。積雲の発達機構や降水過程を定量的に調べる段階であるといえよう。今後は、対流雲の組織化の機構を導入した理論に基づく台風の数値モデルの開発と観測の集積によって、台風の内部構造、発達、移動に関する研究が促進され、人工制御への展望が開かれるであろう。この際、台風銀座に位置する日本のこの分野の研究に対する寄与が期待されている。観測用航空機を一機も持たず、研究者のきわめて少ない現状は、早急に改善されねばならない。

台風ほどはっきり組織立っていないが、前にも述べたように、日本にとって大きな災害をもたらすのが集中豪雨である。もちろん、集中豪雨は台風に伴ってもしばしば起こる。台風を正規軍の大部隊とすれば、集中豪雨はゲリラ部隊である。前者は規模が大きいので索敵が容易で、その兵力、火力、司令部などを事前に把握することができるのに対し、後者は神出鬼没の小部隊から成っているため、その兵力配置や攻撃力がまったくわからず、しかも局地的・時間的な集中力があるため破壊力は大きい。このように集中豪雨をもたらす気象擾乱の構造や時間的変化の実態がまだよくわかっていない現在、防災計画は甚だ困難である。

第二次大戦後、地上における雨量観測網は整備され、他の気象要素に比して最も稠密な観測資料が得られるようになった。その結果、集中豪雨時の降水の特徴がしだいに明らかになった。それは、数時間の時間スケール、数十km～100kmの空間スケールをもち、個々の積雲や積乱雲に比べれば大きい、通常の天気図上で見出されるには小さすぎることである。最近、比較的稠密な地上気象観測の日記記録や、特別に計画された観測資料を丹念に解析するケーススタディの集積によって、集中豪雨を伴うメソ（中規模）気象擾乱の実態の一部が浮かび上がってきた。集中豪雨の解明には、対流雲を組織化させる中規模擾乱の実態とその発達機構を調べることの重要性が認識されている。すなわち、ようやく研究の端緒をつかんだというのが現状である。

したがって、この研究を推進するためには、対流雲、対流雲集団の組織機構と統計的性質などの研究と同時に、中規模擾乱を解像し得る観測手段、観測資料の自動高速処理、客観解析法などの基礎研究が不可欠である。

## 6. おわりに

前述のように、観測・通信技術の発達によって、広域の気象資料を収集・解析することが可能になり、大気の三次元的構造とその変動が次第に明らかになりつつある。一方、電子計算機の発達により、大気の運動の本質をなす非線型過程を数値解によって調べることも可能になった。

気象現象は、多種の素過程および大小長短さまざまなケースルの現象が複雑にからみ合っている複合現象である。このような気象現象の特性から、大気科学においては複合過程としての気象現象の全体像の把握解明が最も重要な課題となり、そのためには、個々の素過程の詳細な研究に加えて、二つ以上の素過程間の相互



作用やその結果として生ずる多様なフィードバック過程に関する研究が不可欠である。大気・海洋系の科学はまさにその典型例の一つである。

## 文献

小倉義光・浅井富雄編, 1975: 海洋気象, 海洋学講座, 3, 東京大学出版会, 191 pp

GARP Publications Series, No. 9, 1972; No. 11, 1973.

浅井富雄, 1975: 気候と気候変動, 科学, 45, 25-32. (1975).

浅井富雄他(訳) 1977: 気候の物理学的基礎と気候のモデリング (GARP Publications Series No. 16), 気象研究ノート, 132, 日本気象学会, 103 pp

# 気象集誌論文 への アドバイス

## 気象集誌論文へのアドバイス

This letter is in response to your request for criticisms concerning the English used in the articles of the Journal of the Meteorological Society of Japan. I wish to say that the sentence structures and the choice of words are sometimes not proper. However, in spite of these defects, I personally do not have any difficulty in understanding the scientific contents of the articles. It may be desirable to improve the English expressions of Japanese authors. But, this may require additional cost in the publication of the journal. I feel that this additional cost is not warranted.

Sincerely yours,

*Mariano A. Estoque*

Mariano A. Estoque

(マイアミ大学 気象・海洋物理学部)