

日本の AMTEX 計画*

—夏季講演会シンポジウム予稿—

会 期：昭和46年9月3日（金）13時～17時

会 場：気象庁第1会議室（東京都千代田区大手町）

1. 竹田 厚（東大海洋研）光田 寧（京大防災研）：境界層過程の役割
2. 武田喬雄（名大理）：積雲の観測—雲物理学的過程を中心に
藤原美幸（気研台風）： // 一気研グループによる積雲の構造を中心に
3. 浅井富雄（京大理）：積雲対流と対流雲群
4. 二宮洗三（気研予報）：気団変質と中間規模・中規模擾乱の問題点。
新田 尚（気象庁電計）：中間規模擾乱の発生・発達についての理論的、
数値的研究の立場からみた気団変質。
5. 田中正之（東北大理）・嘉納宗靖（気研高物）：放射の観測計画。

境界層過程の役割

竹 田 厚** 光 田 寧***

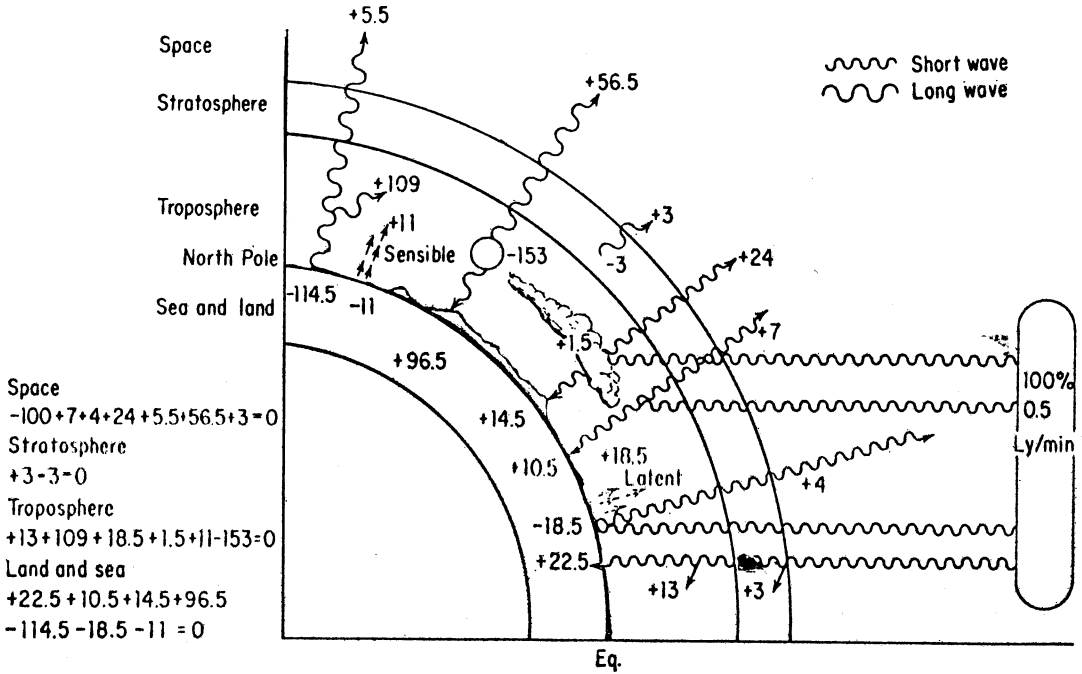
10^{12} キロワットといわれる大気のエネルギの主要な供給源が地表面であることをまず認識したい。第1図は北半球の年平均のエネルギ収支を模式的に図化したものであるが、対流圏大気のエネルギ入力のうち90%以上が地表面からもたらされるものであることを示している。このうち赤外放射によるものを除くと残りは顕熱・潜熱のフラックスによる入力である。また、太陽常数を100としたときに日射で直接大気に吸収されるものは16であるのに対し、地表面から大気への入力は144にもおよび。これは、大気と地表面の間に大気放射などによる

エネルギのフィードバック過程があるためであり、両者のかかわりあい複雑で活発であることを暗示している。一方、大気の運動エネルギの消散の半分以上が大気境界層内で行なわれていることも、大気から地表面への出力として（第1図には数値では現われていないが）重要である。大気境界層（Planetary boundary layer）内の運動が、境界面との間のエネルギや運動量のフラックスを直接運搬する役目をもつばかりでなく、海面に作用して海水を動かす表面水温や海面の抵抗係数を変化させるからである。（全地球表面のうち約70%が海面であり北半球だけでも近くが海で覆われている。地表面のもたらす効果のうち、Albedo が小さく、比熱が大きく、潜熱フラックスを促し、またそれ自体運動をする海洋にその殆んどを帰することができる。）

* AMTEX Plan of Japan

** A. Takeda 東大海洋研究所

*** Y. Mitsuda 京大防災研究所

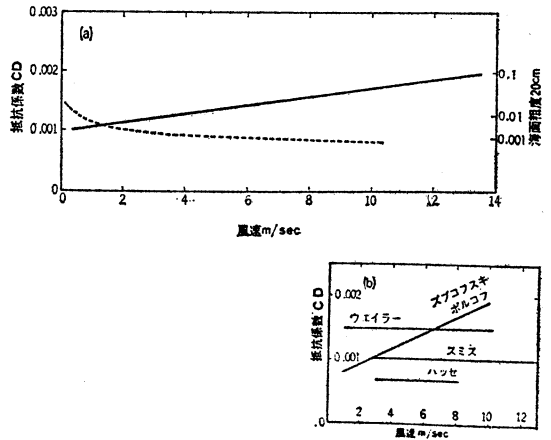


第1図 北半球の年平均エネルギー収支 (Neumann Pierson による)

「境界層過程の役割」とは大気という巨大な熱機関へのエネルギーのインターバルプのはたらきにたとえることができよう。それはフィードバック機構も備えた複雑なもので、バルブの微妙な調整によって入力コントロールされ熱機関の活動が変化するらしいが、そのメカニズムやそこを流れる流量を正確に知ることはまだできない。インターチューブの先端部は地表面にあって何本ものパイプに分れており、1本ごとにバルブがついている。その1本ごとのバルブの機能や流量については、われわれはかなりの知識もっているが、他のパイプと束ねられて熱機関へ供給される段階の流量を簡単に推定する方法(パラメタリゼーション)はまだ不完全である。

中緯度の大陸の東側の洋上は熱帯地方と共に極めて太いインターチューブの束が立ち上っている。気団変質観測の舞台となる南西諸島の黒潮流域一帯もその1つで冬期は全球的にみても大気へのエネルギーの供給が顕著な場所である。このような条件は入力が大きいため高感度の応答(気団変質)が予想され実験の第1段階として好都合となる。

さてここでわれわれが解明しなければならない「課題」を明確にしておく必要がある。この点については JOC-V の小倉 Ad-hoc study group の報告(訳文、6



第2図 抵抗係数と風速の関係

月号掲載)に適切に述べられているのでその要点を引用してみた。

1) 地表面フラックス

地表面を通過するフラックスについては、接地境界層—地上10m ぐらまでの厚さのいわゆる constant flux layer—内ではどの高さで測っても、代表できると考えられるので観測データは得やすい。熱エネルギーあ

るいは運動量のこの層内での鉛直フラックスは、層内のある高さでの気温、水蒸気圧、風速と地表面の温度、水蒸気圧、抵抗係数あるいは輸送係数等の物理量の関数形で完全に表現できるはずである（バルク法）。しかし一様な地面上で熱的に中立な場合以外については未だ確立されていない。特に海面の場合は表面水温の測り方（最近、放射温度計による測定が可能になった。）、抵抗係数と風速の関係、あるいは波によって気層内に誘起される渦が輸送係数に及ぼす影響等の問題があり一般性をもった実験式を確立するまでに至っていない。中でも話題の中心になっている抵抗係数については第2図に見られるような、さまざまな傾向の実験結果が報告されているが、海面状態を表わす適当なパラメーターも導入されるべきであろう。また冬期の黒潮上では気層は不安定であることも注意を要することがらである。このようにして求めた地表面フラックスがどの程度の広さを代表しうるものか、地表面フラックスのパラメタリゼーションの問題は3)の課題に密接に結びつく。

2) エクマン層内での鉛直フラックス

接地境界層から上方に行くにしたがってコリオリ力の効果が重要になる。フラックスの一定性は失われ、発散が生じる。中立成層あるいは非中立成層のエクマン層について、定常で水平方向に一樣な場合を扱う理論はいくつか提唱されており、運動量フラックス、摩擦速度あるいは平均風速を、地衡風、コリオリパラメーター、抵抗係数（または粗度）の関数として与えることができるが、これを実証する実験データは乏しく、さらに一般的な条件について発展させることへの努力が必要である。水平加速度の効果により境界層から自由大気へ運動量をくみ上げる“Ekman Pumping”については、境界層過程の新しい課題として興味もたれる。

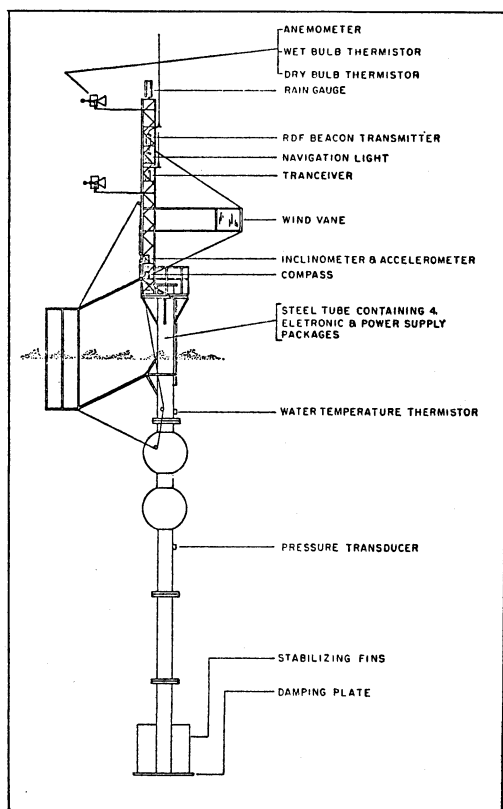
3) 鉛直フラックスの水平スケール

接地層では各高さでのフラックスの卓越するスケールは高さと同程度であるが数100mから数kmの高さになると同じ高度でもさまざまなスケールのものが同時に存在する。人工衛星の写真からも対流のパターンを示すような雲の様子が観察できるようになったが、一樣なランダムに分布する地表面フラックスが境界層過程の中で、いくつかのモードの運動に組織化され、自由大気中に対流セルを構成し100kmのオーダーのメソスケールの系まで組織化されて行くのはどのように説明されるのであろうか。このような大気境界層内の再配分のプロセスを支配するものは何であらうか。これこそ境界層過程の核

心をつく問題であり、この観測計画で一步でも推しすすめなければならない課題である。

以上の3つの問題点を再び、インテークチューブにたとえてみると、接地境界層ではチューブは1本1本独立しておりおのおのに気温、風速、抵抗係数などのパラメーターというバルブが多少連動してついている。上に昇るにつれて各チューブは枝管で互につながりそれにはコリオリパラメーターというバルブが作動する。そして1本にまとまったチューブの中では、機関の焼燃室につごうよいような整然としたタイミング（スケール）のエネルギーの流れが不思議なバルブによって形成されて自由大気へと送り込まれている。

われわれがしくみを解明すべき巨大なインテークパイプ群の全体のイメージはおぼろげながら把めてきたが、まだとても一度に解釈することはできそうもない。そこで南西諸島の観測ではインテークチューブの一番下のバルブについては一応すべての情報を得た上で、上方のバルブにはいくつかの試験的な測器を取付けてテストをし



第3図 安定ブイプラットフォームの例

てみることを目標にする。

具体的な観測項目とそのための測定器をあげると、

- 1) 乱流フラックスの直接測定：超音波風速温度計、赤外線湿度計
- 2) 海面上の接地気層の乱流構造：向上および波浪計
- 3) バルク法に有効な平均量の測定
プロベラ型風速計、放射温度計など。
- 4) フラックスの高度分布の測定
- 5) 大気境界層（エクマン層）の力学的、熱的構造
- 6) エネルギーの3次元フラックス：
レーウィンゾンデ、カイツーン、ドップラーレーダー等
- 7) 海面における全エネルギー収支の実験：観測方法としては沖縄本島または先島群島を中心に展開されるメソスケールの観測網内に数カ所の精密観測点を設ける。このうち少なくとも1つは大型研究船を母船とする洋上の安定ブイプラットフォーム(第3図にその1例を示す)であり、黒潮流域またはその西側で上記の項目のうち

1, 2, 3, 7を行なう。研究船上ではレーウィン観測も実施して5, 6の項目も同様におこないたい。さらにもう1点は黒潮の東側の平坦な海岸に高さ50mの観測塔を設置し、1, 3, 4の精密観測のほか、ここを基地として5, 6の項目についても十分な精度の測定を行なう。これらの観測は少なくとも延べ4週間行なう必要があるが、この期間の間、観測網内の海面上を数隻の船で分担して、地上気象の走査観測をして広いスケールでの地表面フラックスの情報を得る。また、4, 5, 6の項目の観測には航空機観測による検証が期待されるがこれには外国のグループの協力が必要となろう。項目1, 2, 3および7は課題1への対拠であり、5および4, 6はそれぞれ課題2および課題3へのアプローチである。特に6の項目に関しては3次元のネットワークのほりかたなど、これから検討を要する面が多い。なお項目1に関しては1974年度の本観測までの間に、内外の研究グループが集って測定方法の相互比較実験を行ない測定上の誤差などを予めチェックしておかなければならない。

積雲の観測

(雲物理学的過程を中心に)

武 田 喬 男*

1. はじめに

気団変質に対して積雲対流による熱、水蒸気および運動量の鉛直輸送が重要な役割を占めていることはいうまでもない。積雲対流によって変質を受けた大気はまた積雲対流の活動をコントロールする。積雲対流による鉛直輸送を定量的に評価するには、雲のスケール(雲底・雲頂の高さ、水平面積)、上昇気流の速度、温度構造、積雲の寿命および積雲の分布を正確に記述出来ることが必要であり、そのためには、もちろん航空機による気温・気流の測定、写真観測および気象衛星による観測が不可欠である。しかし、それだけでは十分でなく、積雲の発達過程の機構を知るためには、個々の積雲内の雲物理学的過程を調べるのがどうしても必要である。例えば、積雲の生涯は降水要素の形成過程に大きく左右されるし、

また雲頂が 0°C 高度を越える積雲の温度構造には氷晶過程の起こり方が大きく影響して来る。ここでは、雲物理学の立場から積雲の微物理学的・雲力学的過程の観測を考えてみたい。

2. 積雲内の微物理学的・雲力学的過程の問題点

海上の積雲および降水セル内の微物理学的・雲力学的過程に具体的にどのような問題点があるか、そのいくつかにまずふれてみる。

1) 降水要素の集積

積雲内で降水要素が成長し、その落下速度(空気に相対的な)が大きくなると、ある場所に集積するようになる。集積した降水要素の重みが積雲対流の力学に影響し、積雲の生涯・活動状況を大きく変えることは、数値実験(Das, 1964; Takeda, 1971)等を通じて知られている。降水要素の集積のしかたは積雲内の気流および降水要素の粒度分布できまってくる。更に、数値実験によ

* T. Takeda 名古屋大学理学部水質研究施設