



窓 第4回 AMTEX 研究会議の報告*

日本学術会議国際協力事業特別委員会 GARP 分科会**

1975年2月、南西諸島海域で第2回気団変質観測 (AMTEX '75) が実施されたが、その結果の概要およびこれまでの研究成果を討議するため、AMTEX 研究会議が1975年9月26日から29日まで東京大手町のサンケイ会館会議場で開催された。

本報告の第一部は AMTEX '75 の観測概要や今後の

活動計画など business セッションの総括から成り、第二部は scientific セッションおよび引き続いて行なわれた気団変質のセミナーにおける研究報告の概要である。前者は第4回 AMTEX 研究会議報告書に基いて浅井富雄が要約、後者は各セッションの座長または関係者の責任において要約していただいた (文責 浅井富雄)

第一部 研究会議の概要

1. 会議の構成

- 1.1 開会
- 1.2 座長選出
- 1.3 議題の承認
- 1.4 運営の打合せ

2. 企画委員会報告

山本委員長は、当会議に先立って開かれた企画委員会の報告を次の通り行なった。

AMTEX の出版計画と AMTEX に関する将来計画について討議した。また、1977年にシアトルで開かれる予定の IAMAP 特別集会で、AMTEX のための特別セッションを設けるよう IAMAP 事務局に提案することが同意された。乱流測器の相互比較の重要性も認められた。

この研究会が終わり、今後の仕事のための適当な打合せが完了した時点で、企画委員会は解散されるであろう。

3. 実行委員会報告

岸保幹事は1975年2月に行なわれた AMTEX '75 の現地観測の概要報告を行なった。また、実行委員会は1976年3月末までに解散され、その後は日本の GARP

委員会がその仕事を引き続いて行なうが、気象研究所気付の AMTEX 事務局は、しばらくの間 AMTEX に関する郵便物の宛先としての機能を維持する。

4. AMTEX '75 における現地観測の総括

1975年2月14日から3月1日まで15日間に行なわれた AMTEX '75 の現地観測の総括が、それぞれの参加国によって行なわれた。AMTEX '74 のものも含めた実験の詳細については、AMTEX 研究報告第一巻の序文でも review される予定である。

4.1 日本側参加者からの報告

二宮委員が日本からの参加を紹介した。那覇の現地オペレーション・センターは、メンバーの数が外国の参加者の増加に応じて増強されたという点を除いて、昨年とほぼ同じ機能を果たした。センターは昨年より大きい電子計算機をレンタルで使用した。日本側グループによって行なわれた基本的な観測は次の通りである。

- (1) 25の陸上観測点での地上気象観測。
- (2) 6つの島の観測点と3隻の観測船による高層観測 (03, 09, 15, 21 JST)。
- (3) 5隻の観測船による海上気象観測 (データは種々の船舶からも集められた)。
- (4) 5つの島の観測点と2隻の観測船での気象レーダー観測。
- (5) 3ヶ所の島の観測点と3隻の観測船でのプラネ

* A Report of the Fourth AMTEX Study Conference

** Japan National Committee for GARP

タリー境界層の観測。

(6) 3ヶ所の島の観測点と3隻の観測船による放射観測。

(7) 宮古島での雲物理の観測。

(8) 5隻の観測船での海洋観測。

(9) 境界層および雲の研究のための2機の小型飛行機による観測。

(10) 波浪および海洋学的なパラメーターのブイ観測。

4.2 外国人参加者による報告。

4.2.1 オーストラリアからの参加

CSIRO 大気物理学部門の3名が AMTEX '75 に参加し、直接的な渦相関法、スペクトル密度を使った方法の両方によって、熱、水蒸気および運動量の乱流フラックスを測定した。

局地的な地形によって気流のゆがみが生じた多良間、宮古両島の観測点ではいくつかの困難に遭遇した。Calibration のずれに伴う問題は日本の研究者たちの協力によって、解決されつつある。

4.2.2 アメリカ合衆国からの参加

アメリカ合衆国は AMTEX '75 の期間中、いくつかの研究分野に参加した。NCAR の観測機エレクトラは9回の観測飛行を行ない、多様な観測目的を遂行するために、飛行時間は合計50時間におよんだ。このなかには、乱流および平均構造についての境界層観測、前線構造の観測、中規模対流の分野における測定、気温および速度の変化の高周波測定、電界および荷電の測定、hydrometer によるスペクトル測定、それに可視・赤外放射測定が含まれる。

エレクトラの飛行の多くは、アメリカ合衆国の研究者によって集録され解析された AMTEX 地域上の雲の構造に関する衛星観測に基いて行なわれた。その上、衛星による資料は、この地域におけるエネルギー収支計算、および大・中規模大気構造の研究に利用されつつある。

乱流の接地境界層観測は宮古島の観測塔で行なわれた。接地境界層と海上の境界層の観測は啓風丸の北に位置する大陸棚の端に並べて固定されたブイから行なわれた。

4.2.3 カナダからの参加

この会議にはカナダからの参加者はいなかったが、企画委員会の一員であるカナダの Miyake 委員が AMTEX '75 におけるカナダの成果を手紙で報告した。

5. 出版計画

5.1 AMTEX '74 および AMTEX '75 のデータ刊

行の報告

AMTEX 出版関係の二宮委員が AMTEX 資料の出版計画を次のように発表した。

AMTEX '74 のデータレポートは次の7巻になって出版されている。

AMTEX '74 データレポート

第1巻 AMTEX '74 データに関する報告

第2巻 AMTEX '74 の高層気象データ

第3巻 AMTEX '74 の地上、海上、レーダーおよび海洋観測

第4巻 境界層および放射

第5巻 積雲観測

第6巻 気象衛星の資料

第7巻 AMTEX '74 の解析図

AMTEX '75 のデータレポートは航空機観測のためにあらたに1巻を加え、全8巻出版される予定である。以下の3巻は1975年8月に既刊となっている。

第2巻 AMTEX '75 の高層気象データ

第3巻 AMTEX '75 の地上および海上、レーダーならびに海洋観測。

第7巻 AMTEX '75 の解析図

資料の一部はすでに、磁気テープおよび35ミリマイクロフィルム版として出版されている。その詳細はデータ報告の第1巻に記されている。

5.2 AMTEX データの配布に関するその他の通知。

実行委員会の光田委員は AMTEX データレポートの配布状況を次の通り述べた。

AMTEX データレポートは AMTEX 送付先リストに定められた機関や人に配布される。レポートの要求がふえているにもかかわらず実行委員会には若干部しか残っていないので、AMTEX '74 と AMTEX '75 の両方のデータレポートの要求に応じることは不可能である。従って、実行委員会は市販による AMTEX データレポートの縮刷版を出版することにした。

AMTEX '74 データレポートのマイクロフィッシュ版は東京大学出版会から出版される。AMTEX '74 データレポートの全7巻の1セット分は1枚のカラー刷を含む19枚のマイクロフィッシュにまとめられている。価格は送料を含めて1セットにつき95ドルである。モノクロ版も出版される予定であり、これはより低廉になるはずである。AMTEX '75 データレポートは、同様の形式で1976年に出版される。

注文は直接下記へ

〒113-91 文京区本郷 7-3-1

東京大学出版会

5.3 第4回 AMTEX 研究会議報告書の出版

第4回 AMTEX 研究会議報告書は AMTEX レポート第8号として出版される。これには会議で発表された論文もすべて予稿と同様の形式で含まれることになっている。

この AMTEX レポート第8号は AMTEX レポートの最終号になる。AMTEX 事務局へ申し込むことにより余分があれば入手可能である。

5.4 AMTEX の研究論文の出版

この報告の編集者は前回の研究会議で決定されている (AMTEX レポート5号, 6号), AMTEX の研究成果を集めた論文は AMTEX に関する論文の別刷から編集される。AMTEX の参加者, 資料利用者は何らかの形で AMTEX に関した各自の論文の別刷のコピー25部, 編集者に送ることが要求される。詳細は今すぐには決められないが, この報告は提出順によって編集され数巻に分割され, 幾年かにわたって続けられることになろう。編集者の宛名は

〒611 京都府宇治市

京都大学防災研究所, 光田 寧

論文は, Ph D 論文のような長大な論文の抜粋を何らかの形で含むこともあり得る。

6. AMTEX の評価および今後の活動

研究報告が終了した後, AMTEX の評価についての自由討論が行なわれ, 岸保座長はこれを以下のように要約した。

AMTEX の目的は, 特に気団変質が活発な地域におけるエネルギーと運動量が, 海面から大気へ供給され, プラネタリー境界層を通して自由大気へ運ばれる輸送過程を明らかにすることである。そして, AMTEX に対する科学的要請は以下のように要約される。

(a) 地表面フラックス

運動量, 熱, 水蒸気の地表面フラックスの分布が AMTEX 全域で決定されなければならない。

(b) プラネタリー境界層中におけるフラックスの収束と発散

プラネタリー境界層の3次元の力学的構造, 熱的構造を明らかにするために, 鉛直フラックスの測定が必要とされる。

(c) 対流雲

積雲対流によってエネルギーおよび運動量が境界層と

自由大気の間で分配される鉛直輸送過程が明確にされることが必要である。

(d) 中規模および中間規模じょう乱の発生と地表面からのエネルギー補給との関係。

これら上記の科学的要請を考慮すると, AMTEX の評価は, 第4回 AMTEX 研究会議で発表された研究報告を参照して以下のように要約されよう。

(A) 地表面フラックス

多くの興味ある結果が研究会議で発表された。熱および運動量フラックスの測定は収支法, バルク法, フラックスの直接測定, エネルギー逸散法によって別々に実施された。

AMTEX 期間中にいくつかのグループによって, フラックス測定に関する2, 3種類の乱流測器が使用された。それらの相互比較は AMTEX 期間中に系統的になされていない。しかし, この研究会議で発表された予備的な結果は満足できる一致を示している。

バルク法および収支法による熱フラックスの算定のよい一致は, バルク法を海面からの熱フラックスのパラメタリゼーションに関する効果的な手段と見なし得ることを示している。

海洋観測に基く海中および海面での熱フラックスの測定が研究会議で報告された。気象研究グループと海洋研究グループの協力が将来促進されなければならない。

(B) プラネタリー境界における観測

この分野では NCAR エレクトラの航空機観測による貢献が最も高く評価される。研究会議で発表された予備的な結果は境界層観測が成功裡に行なわれたことを示している。カナダと日本の協力の結果, AMTEX のために特に考案された対流圏下層用ラジオゾンデ (LTS) による境界層観測も成功した。LTS の使用は今後促進されなければならない。

(C) 対流雲

エネルギー収支の見地から, 対流雲が放出する熱エネルギー量は AMTEX 地域周辺の高層気象データを用いて評価された。この熱エネルギー量は航空機による直接観測によってチェックされなければならない。航空機 (エレクトラ) 観測はそのごく予備的な結果がこの研究会議で発表された。プラネタリー境界層における熱と運動量の輸送の物理過程についての詳しい知識を, われわれは今後に期待することができるであろう。

この会議ではオープンセルやクロードセル型の対流雲による熱輸送の果たす役割も強調された。セル状対流

運動の物理過程が大規模な運動との関連において明らかにされなければならない。

雲のある大気における放射熱収支をどのように扱うかという興味ある問題が会議で討論され、この問題に関する今後の研究活動が強調された。

また、レーダーと航空機による雲の観測の分野での研究活動が促進されるべきである、という点も強調された。

(D) 数値実験

AMTEX '75 期間中日本の気象庁の研究グループによる3つの24時間予報が試みられただけである。その結果はわれわれに、AMTEX 地域での中間規模じょう乱の発生について多くの情報を与えてくれるが、対流運動のパラメタリゼーションに関していくつかの困難な問題が未解決の問題として提出された。

中規模・中間規模じょう乱の発生と境界層を通してのエネルギー補給との結びつきは、今後観測資料解析と数値実験によってなされるであろう。

AMTEX の成果は今後に期待すべきであるが、

AMTEX '75 は GARP の副計画として成功であったといえよう。われわれが気団変質についての有益な知識を得たことは疑いもなく、そしてわれわれが得た結果は FGGE 計画、特に MONEX のための良き手引きとなるであろう。

今後の活動についても討論が行なわれ、1977年にシアトルで開かれる IAMAP 特別集会の期間中に AMTEX についての特別セッションをもつこと、乱流測器の相互比較を推進すること、AMTEX に関する研究活動を促進しその成果を総括する新しい世話人グループを組織することなどの提案が承認された。

7. 会議報告

実行委員会岸保幹事が会議に報告書の草案を提出した。会議はこれを、編集上の変更を加え満場一致で採択し、この報告を AMTEX 事務局ができる限り早く出版して参加者全員とそれ以外の関係者に配布することを決議した。

8. 閉会

第二部 研究報告の概要

1 総観および数値解析

斉藤 直輔*

Thompson *et al.* は相当温位の時間、高度断面図から、水平温度傾度は総観天気図で解析された寒冷前線の近傍よりも通過後に大きいことを指摘した。海洋上の寒冷前線近傍の温度傾度は水平拡散と、暖かい海面からの熱補給に甚しく影響される。冬期の季節風は前線に伴う気圧の谷が通過してから強まることが多く、強い寒気移流が続くと前線通過後により大きな水平温度傾度が観測される。これがしばしば前線の位置決定に見解の差を生じさせる。通常の解析では前線は大規模な気団の境界で且つ流れの変形場（たとえば気圧の谷）を伴うという立場をとり、単に気温の水平傾度で一義的に決定すると非常に狭い間隔で前線形成ということになりかねない。

斎藤は AMTEX 領域の高さ 1~2km によく見られる逆転層の概観とその形成に関する総観的モデル並びに高度を決める因子を論じ、differential advection と海面上の対流混合を指摘した。北日本で主に解析された寒気ド

ームの境界と対比して、逆転層は前線面の下に別に存在するののか、前線面の延長なのか疑点があった。著者は自由大気中の前線面は単に固有の気団間の境界が気圧系と共に移動してゆく現われと言うよりも三次元運動の結果、温度傾度の集中がおこる現象と考える。北日本の厚い寒気ドームの形成には気塊のより低気圧経路に基因する断熱冷却の効果も加わっているに反して、AMTEX 領域の上空はより高気圧経路に伴う断熱昇温と海面上の自由対流が特異な点であって水平のみならず鉛直の confluence 効果を重視する。二宮も温度傾度が三次元運動と differential heating によって変化することを単に鉛直温度傾度のみでなく水平傾度についても熱収支の数値解析の結果を応用して論じた。

1974年度の AMTEX 領域の熱収支は二宮・新田・近藤によって論じられた。二宮は中国大陸の沿岸から南西諸島に及ぶ範囲の収支を、新田は沖縄を中心に約 $17 \times 10^4 \text{ km}^2$ の範囲を時間と垂直方向により細かいレベルで計算した。近藤は漁船も含めた海表面の解測を最大限

* N. Saito, 気象研究所

に活用してバルク法により潜熱・顕熱の補給量を計算し、表面のストレス・雲量分布の詳しい資料も提出した。熱収支法で求めた海面からの総熱量は二宮、新田の結果は寒気溢期期の平均値(約1,200 ly/day)について一致している。日々の値の変動も近藤のバルク法による値と新田の熱収支法で求めたものは全熱エネルギー量については良い一致を示した。然し全熱量の潜熱・顕熱の配分となると二宮と新田の収支法による解析結果は、大体に10前後である。一方、近藤のバルク法による Bowen 比は北部で0.6~0.4, 南部で0.3~0.2となっていて二つの方式では異なっている。ここで考えられることは凝結量が正しく収支の計算に組み込まれてないから、顕熱補給が過大に、潜熱補給が過少に見積られることであろう。雨量を正しく評価し liquid water の収支をも組み入れる問題が生じてくる。雲物理的観測結果を導入することや新しい観測法を考えることが今後の問題となる。

Fein は渦度収支の結果から、500 mb 以上に過大な渦度移流のあることを明らかにした。準地衡風近似の ω -方程式で ω を見積り、省略なしの渦度方程式で収支を論ずると内部矛盾はあるとしても、彼の結果はきわめて教訓的である。それは再び、上層の客観解析の精度と、強い Jet 流の近傍ではいかなる ω -方程式を用いる

べきかについてわれわれの注意を喚起するからである。

気団変質、熱補給に関するもう一つの問題は熱収支を個々の気圧擾乱に準拠したものが未研究であることである。海面からの熱補給は低気圧の発生や発達に大事であるという考えもあるからこれに対する回答も必要であろう。74年には発達した低気圧がなかったが、幾つかの擾乱は通過した。その時は逆転層は部分的に破壊され厚い湿潤層や雲が観測された。新田・近藤の解析では海面からの補給量はこうした場合は非常に小さい値か負であった。新田は彼の収支解析の結果を応用して逆転層下の雲の熱収支をも論じたが厚い雲があった時の熱収支は今後の問題である。AMTEX 領域に関する現在のわれわれの知識では海面からの熱補給が低気圧の発生・発達の主要因子であるかどうかは未だ疑わしい。幸い75年に発達した低気圧が AMTEX 領域に現われた。岡村(5を参照)は電計室のモデルを用いてこの低気圧に関して熱エネルギーの解析を行ったが、潜熱補給は最下層からではなく中層を移流で補給された水蒸気からであった。もちろんこうした評価は用いたモデルに組み込まれた物理過程に甚しく依存する。更に様々な角度からの解析に期待する点大きい。

2. 海洋学的研究

鳥羽 良明*

まず、「日本の海洋グループ」による「AMTEX '74と AMTEX '75における海洋学的状況の概要」が、鳥羽から報告された。海洋グループの参加機関と観測項目の紹介に始まり、AMTEX の海洋観測資料をまとめて作成された表面水温、100 m および200 m 水温、ならびに表面流速ベクトルの分布図が示され、両年度の特徴が比較された。両年度とも一般的には異常な海況ではなかったが、'75年のほうが黒潮域の流速が大きく、水温が高く表面塩分は低かった。'75年の'白鳳丸による黒潮を直角に横ぎる XBT の水温断面は、2, 3日の間に相当変化し、黒潮の位置も強さも変化する非正常性が示された。観測による中規模非正常過程の追跡について質問があったが、AMTEX の海洋観測の規模では無理であ

る。また、黒潮の西側の定点での、3時間おきの STD による温度塩分の鉛直分布の観測、および、定置ブイによる水温・流向流速の連結記録には、潮汐に関係するらしい半日周期の変化が顕著に現われた。

二つ目は、国司・今里・今脇・小田巻(京大理)による「AMTEX '75における黒潮による熱と塩分の輸送」。長風丸、白鳳丸、東海大学丸IIのいくつかの黒潮横断観測の資料を用いて、その断面間の黒潮の質量輸送、熱量と塩分の輸送が見積もられ、各断面間の黒潮の熱収支から、海面から大気への熱のフラックスの推定値が示された。それによると、平均して2,800 cal/cm²・day の海から大気へのフラックスがあったことになる。しかし、部分的に負値が現われた海域があったので、議論を呼んだ。これは、海水の熱容量が非常に大きくて、黒潮による輸送量の推定の誤差が大きく結果に現われた

* Y. Toba, 東北大学理学部

ためと思われるが、海洋のデータから海面の熱交換を推定する努力の報告であり、さらに改良への継続的努力が望まれる。

三番目は、鳥羽・徳田・奥田（東北大理）佐伯（長崎海気）辻（公害資源研）による「AMTEX 海域上層海洋の不連続構造」、AMTEX '75 の凌風丸の漂泊中の表面水温記録から、 1°C までくらいの水温のシャープな不連続が、黒潮が、黒潮周辺域に多く存在することがわかるが、そのフロントを横切ったの、表層100mの温度断面、および、同じフロントをサーミスタ・アレイ・ブイが横切るさいの海面1m以内の空気側と水側の温度鉛直分布の複雑な変化例が示された。次に、AMTEX '75 で、定置ブイシステムに設置した8台の流向・流速・水温・塩分記録計（TS-MTCM-ST）によって、黒潮の西側陸棚上で海洋のエクマン層の観測に成功した報告がなされた。それによると、有義波の波長程度の深さまで、風波に伴う強制対流による摩擦係数の大きい層があり、その下に、躍層の上でエクマン層がたしかに発達している。海洋のエクマン層の構造の観測から、風の海面

応力の値を推定した点が興味をひいたようであった。

四番目は光易・水野・力石・本多・北・江藤・田中（九大応力研）の「AMTEX '75 期間中東シナ海で観測された海洋波のスペクトル」、東海大学丸Ⅱと白鳳丸で、クローバー型ブイ波浪計で観測した資料を用いて海洋波の2次元スペクトルが求められた。クローバー型ブイ波浪計は、英国国立海洋研究所で最初に開発されたものと同じで、3個のフロートが組合わさされていて、鉛直加速度（1成分）、波面の勾配（2成分）、および、波面の曲率（3成分）が、 0.4H_2 以下の波に追尾して測れるようになっている。これらの情報から、クロス・スペクトル、方向スペクトルが計算された。1次元スペクトルは無次元吹送距離が小さいか大きいかで、実験室でのスペクトルと Pierson-Moskowitz のスペクトルの間の形をとり、方向スペクトルにおける方向分布関数も光易らの前の結果を確かめる結果が得られた。

このセッションを通じて、AMTEX への海洋グループの参加が大いに有意義であったことが認められた雰囲気のように感じられた。

3. 雲と対流の研究

儀 野 謙 治*

(1) 関原疆、村井潔三、小林正治、山内豊太郎（気象研究所）、DMPS データを用いた雲と温度の分布

DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) の人工衛星の可視、赤外の画像の提供を米空軍から受けた。これを用い解析した結果、雲の構造から見ると AMTEX '75 の期間中に典型的な二つのパターン、寒、暖の二つの状態があること、海面の温度の変化もこれに対応して変化することがわかった。また、雲の温度分布を画像から見るために、(i) 可視画像を青、白色ディアゾ・フィルムに変え、(ii) 赤外画像を赤、白2色のディアゾ・フィルムに変え、(iii) この二つのフィルムを重ね合せてカラー写真で撮影する方法をとった。この様にすると雲頂温度の異なる白色の雲は赤色の度合いが異なって見え、雲頂温度を識別することができる。

(2) James F. Kimpel (米、Oklahoma 大学)、AMTEX '74 期間の放射の計算に用いた雲の客観解析

雲の3次元解析(3 DNEPH)から得られた雲の状態を AMTEX '74 期間の非断熱過程への放射の寄与を計算した結果について述べたものである。3 DNEPH は地上、高層、衛星による観測値からある領域の雲の状態を客観的に求める方法であるが、水平間隔46.3kmで 21×22 列の矩形の格子で AMTEX 領域をおおった。特に“暖い日”2月18日、“寒い日”2月26日の計算結果について報告された。大気中からの放射による正味の損失は“暖い日”の方が $2.2\text{mW}/\text{cm}^2$ 多かった。100mbでの正味の射出は前者で 4.2 後者で $8.4\text{mW}/\text{cm}^2$ 、地表でのそれはそれぞれ $7.6\text{mW}/\text{cm}^2$ 、 $1.2\text{mW}/\text{cm}^2$ であって、これは雲量によるものである。乱流によるエネルギー交換の計算値を合せて考えると、“暖い日”、大気の失う熱量は $2.0\text{mW}/\text{m}^2$ で、寒い日に大気を得る熱量は $36.4\text{mW}/\text{cm}^2$ であった。

* K. Isono, 名古屋大学水圏科学研究所

(3) 柳沢善次, 椎野純一, 神林慶子 (気象研究所)

8.6 mm レーダーによる積雲の観測を気象研究所の8.6 mm 垂直レーダー (35 kW, パルス幅 0.5 μ s, ビーム幅 0.25°) を用い行った。300, 600, 900, 1,400, 2,000 m の5点のエコーをペンレコーダーで、高度-時間記録をファクシミリで記録した。

1974年2月23日の前線通過後、北寄りの強風が吹き、エコー頂 1,000 m, 水平の大きさ 500 m の小積雲が10時以降観測され、16時以降その水平の大きさ、高さが次第に増加し、23時にはエコー頂は 5,000 m に達し、3,800 m にブライト・バンドが現われた。宮古島の 5-cm のレーダーによれば、宮古島周辺の海域を孤立したバンド状エコーが次々に通過していた。この様なレーダーによる観測結果と多良間島の岡山大学の行った気象観測の解析との比較検討を行った。

(4) 武田喬男, 石坂隆, 岩坂泰信, 磯野謙治 (名大, 水圏科学研究所), 垂直レーダーによる降水雲の微細構造の観測

降水雲の微細構造を定量的に測定するために特に設計された垂直レーダー (3.2 cm, ビーム幅 1.1 度, 鉛直線上 200 m 毎に75点の反射強度を20秒間隔で数値記録) を用い宮古島で観測を行った。電場観測も同時に行った。

1975年2月18~19日の弱い雨 (10 mm/hr 以下) のときはエコー頂 (10 log $Z_e < 0$ db) の高さは 4,000 m 以下で、温度約 -13°C, 大部分の期間ブライドバンドが 2,600~2,000 に観測された。2月25日には数回のしゅう雨が 45 db 以上の強いエコーがあったが、雲頂は 3,500 m で 0°C 層 (4,000 m) 以下であった。2月14日の強雨のときには降水の開始前に 5~7 km にエコーが現れ、次いで降雨が始り、ブライト・バンドが現れたが最強雨時には対流性エコーとなり、雨の終期には再びブライト・バンドが現れた。

(5) 藤原美幸, 市村市太郎, 青柳二郎, 柳瀬利子 (気象研究所), 海洋の雲の微物理学的構造について

AMTEX '74, '75 に宮古島の北端で 3.2 cm のドップラー・レーダによる観測, 連続雨滴記録機による観測を行い、また飛行機による雲粒, 加速度の測定 (10回) を行った。

ドップラーレーダによる上昇流の変動のスペクトル分析によれば波数 K が10以上の白色雑音の範囲を除けばほぼ $-(5/3)$ 乗則が成り立つ。これより小規模な上昇気流に関し飛行機の加速度計のデータが求めた変動は 200

m 付近にピークをもつ、このピークは雲粒数濃度にも見出される。水平飛行中に観測された雲粒数濃度 (N), 雲水量 (L) の変動の間には相関があるが、変動スペクトル密度 $P(K, L)$ は $P(K, N)$ に比し波数による変化が少い。このことは、 N は L に比べ乱流の影響を受け易いことを示すものと考えられる。

(6) E.M. Agee (Purdue University), AMTEX 期間中のメソスケールの細胞対流の研究

AMTEX 期間中のメソスケール細胞状対流 Mesoscale Cellular Convection (MCC) について地表, 高層, 衛星の観測データを用いて研究を行った。AMTEX '74 の期間中寒冷前線が六角形の観測網を通過した際の空海の境界での熱の伝達量を計算し、その値を表に示した。放射のフラックスは無視できるほど小さかった。特に注意すべきことは MCC の間 (寒冷前線通過後) 空-海の相互作用が劇的に増加することで顕熱, 潜熱による大気へのエネルギーの全伝達量が最大有的时候には 1,500 cal $\text{cm}^{-2} \text{day}^{-1}$ をこすことである。このうち運動エネルギーに変換されるものは 1 cal cm^{-2} で、これは温帯低気圧の cyclogenesis の期間中のエネルギー増加の 4 cal $\text{cm}^{-2} \text{day}^{-1}$ の 25% に当る。また MCC のセルの対流の平均の高さは open cell の 3 例の平均例は 2.3 km, closed cell 1 例は 2.4 km であり、平均直径は open cell 21.6 km, closed cell 42.5 km で、closed cell の方が平たい。open cell の方が熱の輸送を効率的に行っている。この様な傾向は Agee and Dowell (1974) の結果と一致するが、このときは平均対流高度、直径はそれぞれ closed cell は 32 km, 1.3 km, open cell は 30 km, 2.3 km であった。

(7) 嘉納宗靖, 宮内正厚 (気象研究所), 雲のある大気中の赤外放射フラックスと冷却率について

那覇の1975年2月22日 20 h 30 m から 21 h 33 m の温度および湿度の高層観測値を用い、晴天の場合の赤外放射フラックスを計算した。ただし曇天の場合は 900 mb と 800 mb の間の気層では温度減率を一定とし、湿度は 100% とした。雲粒の粒径分布としては Diem 分布を用いた。計算は雲層内は嘉納 (1970) の反復近似法を用い、分子層では Rogers and Walshaw (1966) の方法を用い計算した。正味のフラックスは晴天の場合は高さと共に単調に増加するが、この計算例の場合地表温度が気温よりはるかに高いので最下層では高さとともに急速に減少し、雲層内ではほとんど 0 となる。雲底下では加熱、雲の最下層では 45°C day^{-1} に達する大きな加熱、

最上層では $-101.7^{\circ}\text{C day}^{-1}$ に達する冷却，雲層以上では晴天時より大きな冷却が起る。このため雲層は安定度を減じ，雲の成長を加速する。放射冷却は大きさは雲

底，雲頂の高さ，気温，湿度の鉛直分布に強く依存する。

4. 境界層の研究

竹 田 厚*

はじめに

「境界層の研究」のセッションでは全体の半数近くに及ぶ18篇の論文発表があった。AMTEX では地表面からのエネルギー供給が重要課題であり，大気境界層の研究には多くの関心が集まって当然であるが，AMTEX のような field work では，それに直接参加できるのはやはり実験的手法を軸とする研究分野の人々が多く，国の内外を問わず，境界層関係の研究グループの参加が目立ったことが，この研究会議での発表論文の数にも現われているとみるべきであろう。内容的にも自らの手で得たデータを基に議論されたものが大半を占めている。

研究の対象をみるとプラネタリー境界層に関するものから海面付近の接地層のマイクロプロセスまで広い範囲にわたっている。境界層中のフラックスに関する議論は，従来，定常で水平方向に均一な条件を前提に進められることが多かったが，いろいろなスケールの現象が過度の状態にある AMTEX の場ではどちらの条件も保証されていない (cf. BOMEX)。むしろ現実の気象擾乱に対応した非定常で不均一な条件でのフラックスという新たな問題が境界層の研究に課せられた場でもある。フラックスの時間変動や反勾配フラックスへの注目などにみられるようにそのことに対する認識は発表された論文の中にも窺うことができる。論文は中間報告が多く充分な考察がなされているとは言い難いので批評は避けて，以下に概要のみを紹介する。(評者の判断で便宜上プラネタリー境界層に関するものと接地層に関するものに分けた)。

プラネタリー境界層に関する報告

まず航空機を使った観測結果として数篇の報告があった。

1. 横山，蒲生，山本 (公害資源研) は AMTEX '75 でセスナ機を使い高度 50 m ないし 1,500 m で黒潮上を

横断しながら乱流観測を行なった結果を報告した。プラネタリー境界層の乱流構造に重点を置いており，その中で，乱流逸散率 ϵ が急激に減少する高さ H_e が同じグループによる陸上の結果と同様に逆転層の下端と一致することが強調された。しかし， ϵ そのものの値は陸上に比べて2ケタ小さい点は注意を要するという。

2. Lenschow (NCAR) はエレクトラ機による観測を総括的に報告した。直接法によるフラックスや海面温度が広い海域にわたって何回も測定されたが，最終結果を出すに至っていない。気団流跡線に沿っての逆転層の高さの変化が考察されている。

3. La Rue, Friehe (UCSD) は NCAR と共同で行なったエレクトラ機による乱流観測について報告した (Gibson 氏代読)。応答速度が 250 Hz という測器で乱れを測り，平衡領域のスペクトルから逸散法でフラックスを求めることを狙っているが今回の報告はデータの質の診断結果で終わっている。その中で問題の cold spike は見られないとのことである。

つぎに地上からのプラネタリー境界層観測に関係したものがいくつある。

4. 石島 (疏大) は境界層内の熱フラックスの鉛直分布が大規模な場とどのように対応するかを見るために AMTEX '74 で自らのグループで行なった低層ゾンデの観測データに各観測点の地上・高層データを加えて解析を試みた。

5. 大塚，宍戸，本多 (気研)，根本，鯉沼 (気象庁)，林 (公害資源研)，三宅 (UBC) は宮古島で行なった低層ゾンデと係留気球による寒気吹出時のプラネタリー境界層の構造の研究を報告した。平均構造については混合層の高さは 850~800 mb に及びその上に弱強2段の逆転層が存在する。AMTEX '75 の全期間に亘ってこのレベルの時間変化が描かれている。このレベルは寒気とともに下降し下側の弱い逆転層が薄くなる様子が窺える。係留気球では乱流も測定され直接法でフラックス

* A. Takeda, 東京大学海洋研究所

も求められているが、上向きの τ や下向きの H が現われる点が注目されている。

6. 水間(京大, 原子炉実験所)は後述のように、各種の接地層観測の基地になった多良間島で、プラネタリ-境界層の様子も知る必要からパイバル観測を行ない、高度1,000 m までの風の構造と、地衡風からのズレから地表面の応力 τ_0 を求めた。 τ_0 の値は海面上のものより大きいようである。

接地層のフラックスに関する報告

海上でのフラックス測定に関しては、プラットフォームの構造や動揺、観測点周辺の地形の影響などが問題になる。

7. 藤谷(気研), 林, 光田(京大, 防災研)は、動揺による誤差を座標変換によって補正して、フラックスを直接測定することを啓風丸上で実施し、その結果について議論している。観測は通常1日4回で AMTEX '75 の期間はほぼ継続しており、各種のフラックスの毎日の変化がグラフに示された。その中で注意すべきことは運動量のフラックスがしばしば上向きになることである。その場合の高層観測データによれば風速の勾配が逆転していることから一応説明はつくとしている。海上の乱流特性も Z/L をパラメータとして検討されている。

8. 平, 竹田, 石川, 三沢(東大海洋研)は動揺する船上における別のフラックス測定法として構造関数から ϵ を求める方法とそれによる結果を述べた。構造関数が直接測定できるように超音波風速計を改造し AMTEX '75 の白鳳丸のマストに取付けて観測を行なった。 C_{D10} についての結果は多少のバラつきはあるが平均値として 1.3×10^{-3} を得ている。

9. 文字(大阪府大), 塚本, 光田(京大, 防災研)は観測点の置かれた多良間島の地形の影響について検討し、海面との粗度の違いで生じる力学的な内部境界層の影響よりも、日射によって生じる熱的な内部境界層の影響の方が大きいという結果が報告された。

接地層のフラックスの測定は技術的にも方法が確立しつつあり、精度もかなりのレベルに達してきたと思われる。AMTEX の狙いに合わせてフラックスの時間変動や間接法による記述の適正化の問題など各種の擾乱との関連性を考慮した測定が企てられ、研究報告にもその傾向が現われているといえる。

10. 花房, 藤田, 魚津(気研)は AMTEX '75 の期間中宮古島北端のタワーで超音波風速計で継続的に測定された結果を議論している。平均的なフラックスの値は

期間中、吹出時とそれ以外の時とはかなり違い、0.81 の Bowen 比も0.21に下る。直接法とバルク法によるフラックスの値の比はかなり大きくバラついている。フラックスの値を求める場合の平均時間によって大きな差を生じることも指摘している。

11. Garratt, Francey (CSIRO, オーストラリア)(Dyer 氏代読)は AMTEX '75 で多良間島の岡山大観測点で得た結果を報告した。測定はプロベラー型の風速計で u と w を別々に求め $\bar{w}=0$ になるように座標系を補正した後、それぞれの標準偏差を計算し $\sigma_u/u_* \cdot \sigma_w/u_*$ が相似仮説に基いて一定性を有することを前提にして u_* を決定するという方法をとっている。なお、この観測点は沖にあるリーフの影響はなく、外洋と同じ条件であることも検証されている。

12. Mestayer, Champagne, Friche, La Rue and Gibson (UCSD) は前出3の航空機観測と同様に逸散法によるフラックス測定を宮古島で行なった。風速や気温のセンサーは数 KHz の応答特性をもち Lyman α 湿度計は 10 Hz まで追従できる。ここでは予備的な結果の一例が示されたが、妥当な値の係数を使ってバルク法で求めた値と 8%~50% ぐらいの差がみられる。

13. 米谷(岡山大, 農生研)は多良間島沖の観測塔で得られた乱流のデータについて接地層の乱流特性を示す標準偏差やパワースペクトル, コスペクトルなどを求め、安定度 $-Z/L$ をパラメーターとして考慮し Phelps 等が BOMEX で得た海上の結果と比較し、大体において一致していることを見出している。

14. 高橋(鹿児島大)は AMTEX '74 の期間中、沖繩本島北部辺土名のリーフ内の観測塔でプロファイル法により τ , H , E を求め、そのそれぞれの変化についての予備的な結果を報告した。各種のフラックスの値とも変動が極めて激しくかつ大きいのが、プロファイルの勾配の変化が大きいためと安定度を考慮していないことによるのではないかとしている。

15. 竹田, 平, 石川, 三沢(東大海洋研)は AMTEX '74 において備瀬崎の、海岸で、デジタル方式の超音波風速温度計を使ってフラックスを約10時間連続的に直接測定し、その短周期の時間変動に着目した。30分毎の平均値についてみると風速や気温の変動は小さく定常に近いにもかかわらずフラックスの値は何倍もの変化があり、予備的な検討の結果では熱のフラックス H 自体が大きな因子として作用しているらしい。この結果は安定度を考慮しないでバルク法を用いることに問題があるこ

とを示唆している。

AMTEX のような場で問題になるフラックスは、平均場を記述するような量によって間接的に測定されたもので充分であり、そのための方法の確立が境界層研究の一つの最終目標になっている。

16. 佐橋 (岡山大, 教育), 米谷 (同, 農生研) は AMTEX '75 の多良間島のリーフ内でのフラックスの直接測定の結果から、バルク係数の風速への依存度を求めた。C_H, C_D 共、風速とともにわずかながら増す傾向がみられる。C_H の平均値は 1.4×10^{-3} と他の報告に一致するが C_D の平均値は 1.0×10^{-3} と若干小さめである。

17. 塚本 (京大, 防災研), 林 (同, 理), 文字 (大阪府大), 光田 (京大, 防災研) は、やはりバルク係数の定量化に関して、直接法で得たフラックスと間接的ないくつかの方法による値とを比較しているが、 H や E が、平均勾配が 0 の時でも 0 にならない点に注目している。バルク係数の平均値として $C_{H10} = 1.4 \times 10^{-3}$, $C_{E10} = 1.3 \times 10^{-3}$ が得られている。

最後に下層大気についての解析として

18. 藤田, 本多 (気研) は AMTEX 期間の典型的な日を選び気団の流跡線に沿って下層大気の変質過程を解析し収支法により海面からの熱と水蒸気の供給量を求めることを試みた仕事を報告した。

5. 数値シミュレーション

岸 保 勘 三 郎*

AMTEX '75 の期間中における数値予報例が岡村 (気研) によって示された。具体的には 2月10日00Z, 2月13日12Z, 2月18日00Zを初期値とした3つの24時間予報例が示された。予報の数値モデルは気象庁電子計算室で用いられている6層モデル (アジア地域のみ局地的にこまかい格子間隔 (150 km)) である。上記3例とも AMTEX 領域およびそれより北の日本南岸での低気圧の発達をよく再現している。予報の副産物として24時間予報の期間中、海面からの熱エネルギーの輸送量も示されたが、それらの量の妥当性は将来 AMTEX '75 の観測データとの比較検討によって明らかになるものと思われる。

山岸 (気象庁) は上記6層モデルに用いられている顕熱、潜熱輸送のパラメータ化を検討するという立場から、東支那海で低気圧が発達した例として1975年1月20日12Zを初期値とした24時間予報をとりあげた。予報結果のまとめによると、このモデルでは海面から熱エネル

ギー輸送量、それに伴っての凝結熱の放出が少しオーバーに表現されるようである。このことは現在用いられている海面からの熱エネルギーの輸送過程のパラメータ化 (対流調節方式) について、まだ改善の余地があることを示しているものと思われる。

上記パラメータ化の問題に関連して、片山, 山崎は Arakawa および Shubert の方式を AMTEX, 74 のデータを用いて吟味した。上記方式はエネルギー収支解析の立場から既に新田 (勅) によって吟味されているが、片山, 山崎 (気研) は、Arakawa および Shubert の提案、即ち “cloud work function” (浮力と積雲の上昇速度との積で表わされ、対流の運動エネルギー発生を示す量) が準定常状態にあるという条件より、積雲対流活動と大規模運動場との相互作用を量的に吟味し、雲の高度分布について興味ある結果を示した。

竹内, 阿部 (気研) は地上における気圧傾度、気温と水温の温度差、相対湿度をもとにして大気境界層中における運動量、熱エネルギーの乱流輸送のパラメータ化を吟味した。

* K. Ganbo, 東京大学理学部

6. 気団変質に関する種々の研究

浅井 富雄*

主として黒潮流域上の気団変質に関連した観測、資料解析、理論的研究など多方面にわたる報告がなされた。まづ題目と発表者をリストすると、(1) 暖海上の気団変質過程：数値実験；浅井富雄（東大海洋研）、(2) 逆転層下の対流層のモデル化の研究；Y. Ohura（イリノイ大学）、(3) エネルギー交換の風向に伴う変化および寒冷前線の変質との関係；A.F. Bunker（ウッツホール海洋研）、(4) AMTEX 観測期間における黒潮域上境界層フラックスの評価；光田寧（京大防災研）、(5) 海洋上対流層の詳細な解析；J.W. Telford（ネバダ大）、(6) 写真観測で見出された海上における積雲の回転運動；孫野長治（北大理）、(7) 黒潮域上対流雲の雲物理学的研究；磯野謙治他（名大水研）、(8) 湿潤大気層中の非線型対流；R. Van der Borgh（モナッシュ大）、(9) 激しい気団変質期間における運動エネルギー変換の解析；E.C. Kung（ミズーリ大）、(10) 湿潤大気における中間規模じょう乱の不安定性；岸保勘三郎（東大理）、以上10篇である。

浅井は北西季節風の卓越する黒潮域では非常に発達した対流混合層が形成され、それは比較的二次元的流れの構造で特徴づけられることを示し、二次元モデルを用いて数値実験を行なった。それによれば黒潮を横切って風上側では海面からの加熱により風下に向かって加速された下降流が誘起され、一方、黒潮を横切って風下側で上昇流が形成され易い。これらの気団変質におよぼす直接的效果は大きくないが、対流活動と結びついで効果が期待されるが、このモデルには未だ導入されていない。Ogura は以前から手がけてきた熱帯貿易風大気境界層の研究において開発したモデルを紹介した。水平に様な場において、雲の下の混合層、転移層、雲層、逆転層、その上層から成る鉛直構造が海面からの熱や水蒸気の供給、一般場の鉛直流…などに如何に依存するかを、一方では一般場のエネルギー収支から軸対称モデル対流雲の population を diagnostic に求め、他方では prognostic にモデル対流雲を用いて一般場の構造を決定し

ようとする。水平移流効果が導入できれば黒潮域の気団変質にも有用なモデルとなろう。

Bunker は東シナ海南部に1961~1968年にわたり船舶による観測資料6万個を用いて大気・海洋間の熱・水蒸気・運動量の交換量をバルク法により算定した。それによると冬期北西風時潜熱フラックスは最大となり 520 Watt m^{-2} で、南東風時の3倍に達する。また東シナ海域を30個の小領域に細分して求めたフラックスの水平分布を寒冷前線の構造や強さやその変質に関連づけることを試みた。光田は AMTEX 観測期間中に実施された島や船などでの各グループの境界層フラックスの直接測定の結果を比較し総合した。Telford は AMTEX '75 の2月19日、エレクトラの観測飛行により得られた資料を目下解析中でその一部を報告した。大気境界層における温位、混合比、風などの詳細な鉛直分布を示すに十分な資料が得られているようである。

孫野は AMTEX '75 期間中、宮古島での16 mm 駒落し写真観測中に見出された水平軸廻りの回転性積雲を映画で示した。風上側で上昇し風下側で下降する向きの回転を示す雲と、逆向きの回転を示す雲があり、前者は雲頂付近で風速が高さと共に増し、後者では風速が高さと共に減ずる鉛直シアをもつ場合に対応する。磯野は宮古島でレーダー観測、電場測定、地上および飛行機によるエアロゾル収集を行なった。この場合にも雲の氷晶過程は降水形成に重要な役割を果していること、エアロゾルは主に海塩粒子から成り、陸上起源の粒子の数密度は非常に小さい。また、気団中の氷晶核は非常に少なく、それによつては観測された雲の氷晶化過程を説明し難いことを指摘した。Van der Borgh は AMTEX 域でしばしば見出される中規模細胞状対流雲のうち特に open セルと closed セルに着目した。湿った大気で非線型過程を一部導入した対流の数値モデルを用いて、open セルに伴う鉛直熱輸送量が closed セルに伴うそれより僅かながら大きくなることを示した。

Kung はこれまで北米大陸上において高層観測資料を用い種々のスケールのじょう乱のエネルギーや運動量などの定量的収支解析を行ってきたが、その手法を

* 東京大学海洋研究所

AMTEX に適用して運動エネルギーのソースやシンク、変換量、風速場の強さや変化との関係、ひいてはじょう乱の発生・発達を調べようとする。とりわけ Kung は運動学的方法で鉛直流を求める工夫をしてきたが、これにより運動エネルギーの収支解析という困難な問題が解決できるか否かは今後にまたねばならない。岸保は湿潤大気中の中間規模じょう乱の力学的不安定性を線型理論に基づき乾燥大気中のそれと比較して論じた。乾いた大気の場合には中間規模じょう乱の卓越モードはリチャ

ードソン数が1のオーダーの時に期待される。湿潤大気の場合、対流効果を CISK 機構で表現すると、大気境界層での摩擦収束による鉛直速度が傾圧波のそれに比してはるかに小さいときには通常の傾圧不安定波と同様の性状をもつが、摩擦収束による鉛直速度が大きくなるとリチャードソン数が1よりはるかに大きくなるとトラフが高さと共に東へ傾きスティアリングレベルを持たない通常の傾圧波と性状を異にする不安定な中間規模じょう乱が発現し得る。