

長期予報研究

グロースベッター

第 6 卷 第 3 号

目 次

気象学および大気物理学

Leason H. Adams and J. F. Schairer 編集

1. 気候変化	J.M.Michell, Jr.	1
2. 熱帯気象	C.L.Jordan.	5
3. 上部大気の力学	C.O.Hines.	8
4. 大気大循環	S.Manabe.	12
5. 極気象	N.Untersteiner	15

Yale Mintz 講演「大気大循環の数値シミュレーションおよび地球と火星の気候」の紹介	28
---	-------	----

1968年 5月

L. F. グループ

Transactions, American Geophysical Union, 48, 462 (1967)
に Meteorology and Atmospheric Physics として

1. J.M. Mitchell, JR.: 気候変化
2. C.L. Jordan: 熱帯気象
3. C.O. Hines: 上部大気の力学
4. S. Manabe: 大気大循環
5. N. Untersteiner: 極気象
6. R.E. Sewell: 成層圏とメソヘヤ
7. D.K. Lilly: 大気のじょうらんとかくさん
8. N.A. Phillips: 数値予報
9. W.K. Widger, JR.: 衛星気象の成果

の各テーマについて最近までの展望と文献一覧を掲載したので長期予報管理官室の皆さんにはん訳を分担してもらつて上から紙数の関係で5編のみをまとめた。選び方に問題があるかとも思うが多数読者の今後の参考という点から選んだ。

ミツチエル (J.M. Mitchell, Jr): 気候変化

(ESSA, Silver Spring, Maryland)

過去4年間の古気候学と気候変化についての研究の進歩は目ざましいものがある。その大部分は今まで試みられたことのなかつた同位元素を使つた測定の上に組み立てられた量的の取扱いによつて特長づけられている。このような研究の進歩にしたがつて、地球の歴史を再構成する問題や、大気の力学にもとづきその物理像を組み立ててゆく問題や、また気候をかえる外部からのじょう乱の役割をどう考えたかという問題のあいだに新たな喰いちがいがはつきりしてきた。この短報においては現在問題になつているいくつかのテーマについてだけしかふれることができないが、筆者は引用文献をやむをえず省略したり、撰択したことについては言いわけをしなくてはなるまい。

最近の気候変動の研究が色々の分野で、色々な持ち味をもつて行なわれていることは、たとえば次にあげる三つの報告をくらべてみても明らかである。

(1) Report of the Aspen Conference on the Climate of the Eleventh and Sixteenth Centuries (Bryson and Julian, 1963)

(2) Publication pertaining to the 1965 International Union of Quaternary Research Congress (e.g. Wright and Frey, 1965; Mitchell, 1965b)

(3) Various studies Undertaken at the Newly established Center for Climate Research of the University of Wisconsin (e.g. Baerreis and Bryson, 1965a, 1965b; Bryson, 1965)

これらの研究はいずれも、気候学者、古植物学者、考古学者、歴史家、地質学者、氷河学者、太陽物理学者等の協力が第四紀や後氷期の気候の変化を明らかにする場合に有効であることを明らかにした。

エリクソン其他の研究 (Ericson et al, 1964) は、深海堆積物のコア・サンプルに

もつくものであるが、これによると第四紀の前期にあたる洪積世は、非常に古く150万年にさかのぼることができるのであつて、この結果から彼等は主要な氷期～間氷期の時間スケールをかなりひろげなければならないことを主張しているのである。

[Krinsley and Newman, 1965; Conolly and Ewing, 1965; Hays, 1966; Curry, 1966; Donn and Ewing, 1966] 等の示した幾つかの資料の間にはいくらかのちがいはあるが、これはいずれも第3紀と第4紀の境の時期をこれよりは早めに考えており、250～300万年前をその時期として考えている。このような年代の固定に大きな役割をはたしているのは、古磁気の磁性の反転のあつた時期を放射計 (Radiometer) で測ることであるが、これについては [Cox et al., 1963; Doell et al., 1966; Opdyke et al., 1966] の研究がある。

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ の同位元素解析によつて、第四紀の海水表面温度の絶対年代を決定する研究は、Emiliani (1966a, 1966b) によつてまとめられ、拡張された。古い年代における気温を決定する技術的方法を書いた広範な教科書は1968年にBowenが書いた。後氷期における海水面の上下の問題は [Coleman and Smith, 1964; Eardley, 1964; Higgins, 1965; Ward, 1965; Broecker, 1966a] によつて取上げられたが、それをどのように解釈するかについての困難な問題はなお残されている。

第四紀の現世統以後の歴史時代に対しては、古気候的指標がさらに決定的な知識を与えてくれることはさらに広く認識されるようになったが、古気候学の現状についてはFritts (1966) がその総合報告を行つた。Fritts はまた合衆国西部のくわしい降水の年代誌を年輪の資料を用いて調べ、A. D. 1500までさかのぼつて降雨の経年変化を組み立てた。[Fritts, 1965] 最近行なわれた非常に興味ある研究はC. G. Langway とその共力者がCold Regions Research and Engineering Laboratory (U. S. Army) において行つた研究であるが、これはグリーンランドと南極の厚い氷冠から得られた氷のコア・サンプルから得られたものである。これらのコアの上部を酸素の同位元素を使つて測定してみると、最近の世紀における雪の堆積の年変化をたしかめることができるのである。この他大気成分や混濁度の歴史的变化をたしかめるといつた研究も企てられた。気象観測の結果を使うことのできる過去1～2世紀の気候変化についてはWMOのTechnical Noteの中で、Mitchell その他 (1966) が取扱つており、世界的に気温分布の型が変つてきたことを統計的に解析する試みはミッチェル [Mitchell 1963] によつて企てられた。

気候変動の原因論はいくつかの観点から研究が進められたが、そのあるものは根本的なものであり、あるものは推論的のものである。根本的にこの問題を取扱つたものとしては [Lorenz, 1964], [Kraus and Lorenz 1963, 1966], 及びMintz (1965) の数値実験がある。さらに最近行なわれた [Smagorinsky, 1963; Mintz, 1965; Saltzman, 1967] の大循環の基本的な研究の進歩は、気候変化の様相を大気の運動の理論から導き出す日

の近づきつつあることを暗示している。気候原因論を総合することは (Mitchell 1965a) がくだてたが、第7回の INQUA のシンポジウムにおいては気候変動の原因として考えられることを列挙し、色々な変動の理論の長所を評価することが考えられた。

特に氷河時代の原因は現在なお不明なものとして残されている。Milankovitch の放射年代学による説明は現在なお魅力のあるものであり、これについては Broecker, 1966b; Kutzbach et al., 1967 の研究がある。しかしこれに競う色々な仮説も提出されており、地球的な機構にもとづく説明が Donn and Ewing, 1966; Tanner, 1965; Weyl 1967 によつて企てられた。Broecker (1966b) はミランコヴィッチの放射年代学と深海のコア・サンプルから得られた知識を一つの指標とした気候年代学を調和させることを試みたが、彼は低緯度における変化には分点の歳差と軌道の離心率の変化がより大きな影響を与え、高緯度地方に与える黄道の傾斜の影響はあまり大きくないと考えた。このような影響のうけ方のもとに、大気の大循環がミランコヴィッチによつて与えられた極値の間を行ったりきたりすると考えると、気候変化の年代を放射年代学から得られた年代によく一致させることができるのである。Kutzbach その他 (1967) は大循環の基礎理論から、放射の変化に対応して、この行ったり来たりする変化が実際におこっていることを明らかにした。

Donn と Ewing (1966) は、彼等がはじめに提出した氷河期のモデルを修正したが、それは氷河期にくらべると各氷河期のはじまる時期においては北氷洋では氷のない状態のあることを仮定した上での修正であつた。その時期には高緯度における内陸氷河がはじまるだけにすぎないのである。さらに氷河期が進むと他の経過がはつきりしてくるが、海水面の低下よりは海水温の低くなるのが、間氷期に導く明らかな氷床の消費の原因になつていると考えられるのである。北氷洋に氷のない時に、熱収支がどうなるかについては、色々なモデルを想定した上での研究が Fletcher (1965), Donn & Shaw (1966) によつて試みられた。Tanner (1965) は第四紀の氷河の問題について、これらとはいくらか異なる見解を発表したが、これは最初は構造地質学的原因によつて極海が、他の海洋とのつながりがたれた状態を考え、これにつづく時期において大陸氷床の発達と、衰弱があらわれると考えるものであつて、これは C. E. P. Brooks の提出した古典的な考え方をいくらかとうしゆうしたものである。そして新しい氷河期のゆるんだ時期があらわれ、これは時間差をもつて地殻平衡によるはねかえりの起ることをゆるすものである。Weyl (1967) はこれらとは全く異なる第四紀氷河のモデルを考えた。Weyl は北氷洋における塩分の変化を考えた学説であるが、Weyl は力強く氷河期の形成の重要な原因になると思われるこの因子について議論した。この塩分濃度の変化は一方においてパナマ海峡を横切つて流れてゆく大気の水蒸気の輸送の変化を支配する要因とも考えられるのである。この輸送の大きさは熱帯循環における微妙に小さな差異に感度のよいものであるが、このことは初期においては一つの小さな気候的のじょう乱が、後には氷河期にまで発達する可能性のあることを示唆するものである。上のべた仮説は、いずれも想像的段階の仮説であるが、いずれも広い研究が

進められており〔Wilson, 1964, 1966〕, 気候学者の側において解決すべきいくつかの理論的問題を提出したのである。さらにつけ加えておきたいことは、Weyl と Wilson の仮説においては、ミランコヴィッチの放射年代学の間接的な役割りは疑われているということである。

気象現象に対して太陰及び太陽の潮汐的じょう乱が重要な役わりをはたしていることは最近たしかめられたが、〔Brier and Bradley, 1964; Brier 1966〕 気候変動に対してもかかわり合いを持つているように思われ、その研究がはじめられるようになった。2年周期は気候の変動や大気上層の資料について広く熱心に研究が進められており〔Landsberg 他 1968; Angell & Korshover, 1964; Wallace and Newell, 1966〕, またいくつかの理論的研究もあらわれた〔Staley, 1968; Reed, 1964; Lindzen 1966.〕 この問題についての広範な総合報告はReed が発表した。〔1965〕 2年周期は大循環の一つの重要な様相であり、18-20年のオーダーで振幅が系統的に季節と共にかわる一種のビートの現象であることを暗示する証拠が蓄積されつつある。〔Brier, 1966; Angell and Korshover, 1966〕 しかしながら2年周期の根本的原因はなお明らかでない。これについては〔Brier, 1966〕が太陰・太陽潮との関連を示唆した。しかしながら太陽の紫外放射の変化には良くいわれた26ヶ月周期はあらわれていない。〔Belmont 他, 1966〕

太陽活動の変化は、気候の変動に対して可能性のある影響を与えるであろうことは明らかなことであり、この線に沿った研究もさらに進められた。〔Willett, 1965; Shaw, 1965; Mitchell & Landsberg, 1966〕 しかしながら過去については、その結果はいくらかあいまいである。ローウエル天文台における太陽変動のプロシエクトが発表した新しい報告によると、それは17年間にわたる海王星と天王星の測光学的観測にもとづくものであるが、この期間のうちに系統的な太陽定数の変動に対応した変化が、不確かながら指摘された。〔Jerzykiewicz & Serkowski, 1967〕

太陽定数を地球の衛星から連続的に観測しておくことが肝要なことが強調された〔Mitchell, 1965c〕 C^{14} 解析を用いた樹木の絶対年代の研究によると、過去数千年の間の、太陽活動の長周期の変動がどうなっているかを明らかにすることのできる可能性が、はつきりしてきた。〔Suess, 1965; Damon 他 1966〕そしてこのようにして求めた C^{14} にもとづく太陽変動と歴史時代の年候の間には明らかに相関のあることが注目された。太陽活動に関連した問題で非常に興味があるのはJose〔1965〕が見出した関係である。彼は太陽が太陽系の重心のまわりに動く軌道の角運動量が惑星の影響の下に変化しており、これにしたがつて太陽黒点の変化がおこつていることを明らかにした。

謝辞 — この報告は古気候学と気候変化についてのAGV委員会の他のメンバー即ち W.L. Donn, T.L. Smiley 及び P.R. Julian との協力の下に出来上つたものである。これら各位の協力に対して深甚の謝意を表する。

(根本順吉紹介)

熱 帯 気 象

C. L. Gordon (フロリダ州立大学)

○緒言

気象衛星資料は近年のアメリカにおける熱帯気象学に非常にめざましい発展をもたらした。今まで気象上“無言の地帯”であった熱帯の広い地域上の雲の形態の衛星写真は、すべてのスケールについて神秘的パターンを現わした。過去にはこの分野にほとんど興味を示さなかつた人達でさえも、熱帯は拡汎な研究興味のある場所であると急に考えるようになった。この興味は、米国の科学者達が主役を演じている W. W. W 計画に影響し、熱帯地方の観測研究に高い優先性をあたえた (WMO, 1966)。1967年春の赤道中部太平洋で行なわれた、いわゆる Line Island Experimentはこの方向への出発である。この観測計画は National Center for Atmospheric Research の指導と多くの大学グループの協力によるもので、ATS-1衛星からの観測の利用を考えた。連続的に太陽同期 (daylight coverage) をとり得るこの同時衛星は衛星気象学に新たな分野を導入し、熱帯の気象状況の形成、進展、移動に貴重な情報を提供するであろう。他の重要な観測計画は1968夏の東部カリブ海にある Barbados 島のものである。この調査計画はフロリダ州立大学の Garstang が立案するが米国からの研究グループが含まれる筈である。この調査計画は衛星資料とは独立にたてているが、第3番目のATS衛星による熱帯大西洋地域の連続的太陽同期が得られると思われる時機に合わせてある。詳細な観測を行なう場合衛星からの情報をその骨組みとして利用する傾向は熱帯で展開される他の観測計画にも受けつがれるだろう。

次に、過去4年間に熱帯気象学の分熱で米国衛星の果たした重要な貢献についての概要を述べる。熱帯気象の色々な方面での最近の論文のわづかな部分しか参照できなかつたし、多くの場合、著名な科学雑誌に掲載されたわづかな論文しか引用していない。

米国の学者は過去4年間に熱帯気象に関する3つの重要な国際会議およびシンポジウムに出席している。それは次のとおりである。

1. 1963年6月のメキシコ市でのハリケーンおよび熱帯気象に関する技術会議
2. 1968年11月のニュージーランドの Rotorua で開かれた熱帯気象シンポジウム
3. 1965年7月インドのボンベイで開かれた国際インド洋観測の気象に関するシンポジウム

第1番目と第2番目の会議報告書はすでに刊行され、米国の学者があまり貢献していない第3番目の会議報告はその内に刊行される予定である。第2番目の会議報告はNZとして引用し、第1番目の会議報告は Geofisica International の3分冊として刊行されたのでMX-A、MX-BまたはMX-Cとして区分して引用した。

○大規模現象

大循環。熱帯の循環系に関する大規模な模様、たとえば、熱帯の谷やインドのモンスンについての重要な多くの研究がなされたが、上層風の観測がないことは熱帯の大循環に関する知識の進歩に非常な妨げとなった。低緯度での観測が大循環の広汎な研究に対して十分な量となったときには、Charney(1963), Gilman(1965) Riehl(MX-A) および Starr and Wallace(1964) 等の研究はこれらの観測を説明するのに役立つであろう。

26か月周期。熱帯大気の東西流にはつきりと現われるこの興味ある問題についても多くの研究がなされた。熱帯および亜熱帯地方における色々な気象要素の26か月振動の事実を議論し、この現象に対する機構についての仮説を呈出した Reed(1965) の要約的論文もこの現象に対する完全なものではなかつた。Berrier(1966)は最近の研究でこの振動に対して潮汐の仮説を提出し、年の周期によつてはつきりと振動の大きさが異なってくる“うなり”現象であることを暗示した。

熱帯の谷。Hubert(NZ), Johnson(MX-A) および Sadler(1964)を含む多くの研究者が、熱帯の谷域についての研究を衛星資料を用いて行なつたが、この地域では他の気象資料がないため記述的になつてしまつた。前にのべた Line Island Experiment では、最初に熱帯の谷域における衛星写真に加えるべき気象資料の型を準備することである。

インドのモンスン。国際インド洋観測中になされた観測はインドのモンスンのよりよい記述および解析を目的とした研究に利用された。この資料についてはまだ多くのなすべきことが残つているが、今までに刊行された報告 (Colon, NZ; Ramage, 1960) はモンスンについての知識に重大な前進が近くあることを暗示している。

数値解析および予想。Bedient および Vederman(1964)により熱帯太平洋地域の大部分において上層風に対する数値解析および予想が常時利用されている。大西洋域では National Hurricane Research Center(Koss, 1966)で同様のことが研究されているが、まだ予報のためのルーチンには利用されていない。

ハリケーン。米国の学者によるハリケーンの研究はこの数年急速に進められている。NZ, MA-A, MX-B および MX-Cにも National Hurricane Research Laboratoryや他の多くの科学雑誌と同様、ハリケーンの構造や予報に関する多くの論文が掲載されている。しかし、これらの研究の多くは IUGG への前報告(Riehl, 1963)の線にそつたものなので、重要な進展または新観測が導入されたもののみを述べることにする。

重要な進展は、積雲スケールの潜熱の放出を考えに入れたハリケーンの数値モデルの開発で、Charney and Eliassen(1964), Kuo(1965) および Ogura(1964) が重要な貢献をしたが、Ooyama(MX-B, NZ) のものが最も有望で、とくに最近の未刊の報告が優れている。

ハリケーンの衛星からの展望はしばしば劇的で衛星資料によつて得られた詳細な研究には可成注意が払われている。Fett(MX-A, 1966), Fritz その他 (MX-C, 1966) および

Fujita [NZ] はこの分野で主役を演じているが、Fritz と Fujita は赤外線放射資料を可成使用している。

Stevenson and Armstrong (MX-C), Jordan (NZ) および Leipper (未刊) の研究によると、しばしば熱帯低気圧は広大な海面および可成の深さまで著しい冷却を起こすことを示した。このことはハリケーンの発達や運動の予報のために海洋の熱構造が果す役割についての重要な暗示を含んでいるようである。

弱い熱帯じょうらん。熱帯大気中の波型じょうらんに対し昔よりも強い注意が向けられるようになった。Rosenthal (1965), Krishnamurti and Baumhefner (1966) および Rosenthal and Reaves (1967) は波動じょうらんの理論的モデルの提示をした。飛行機、レウインゾンデおよび衛星資料を用いた観測的研究が多く刊行されている (Yanai, 1964; Merritt, 1964; Erickson (1963))。この他に National Hurricane Research Laboratory におけるグループ、コロラド州立大学、ロスアンゼルスにあるカルホルニヤ大学、フロリダ州立大学による観測的研究が完了し、刊行を待っている。熱帯地域に対する現実的 Synoptic モデルが出来るまでには多くのことが残っているが、多年の中休みの後、この目標に向つて多くの努力がなされていることは希望を与える。

○対流スケールの現象

熱帯海域上での境界面におけるエネルギーの過程の重要性は W W W 計画に反映し、序論でのべた Barbados Project のような観測計画がこの重要事項に興味を向けている。海陸間の相互関係についての独立した報告が海洋部門にあるので、この方面の最近の研究の要約は行なわなかつた。

熱帯大気の雲の層内でのエネルギー流については殆ど知られていない。国際インド洋観測期間中に Bunker が広はんな飛行機によるこの層の観測を行なつたがまだ刊行されていない。

Gray (1966) はハリケーンの力学に果す積雲の役割を考えるために飛行機の資料を用いた。

種まき実験を熱帯の積雲上で行ない (Simpson, その他, 1966) 力学的研究と、小範囲についてではあるがこれらの雲の Microphysics の研究を行なつた。種まきした雲としない雲の特性を理論的モデルと比較して有望な結果を得ている。

未刊ではあるが、衛星で観測された Malkus and Riehl (1964) による雲の分布型についての記述的研究がある。このような型の研究は熱帯海洋上の subsynoptic scale の天気の問題に実をもたらすであろう。

○将来の概観

熱帯気象への興味の増大は少なくともここ数年は期待され、計画化された観測結果は新しい研究への情報を提供することであろう。前に述べた計画のほか、Simpson and Malkus (1964) により論じられた型のハリケーンや積雲の変形実験を行うよい機会があると思われる。ハリケーンの水収支の研究にトリチウムを利用する研究、潜熱の放出を化学反応でシミュレート

したハリケーンのモデル実験、海洋と大気間の相互作用を含んだハリケーンの数値モデルなどを
含む未刊の興味ある研究が行なわれている。 (石井直喜紹介)

上部大気の力学の研究

C. O. HINES (シカゴ大学)

序文

下部大気と同じように、上部大気の運動は、大循環から乱流渦動にわたるいくつかの空間-時間スケールで起つている。これら二つの極端の間の中間のものは、潮汐によつて誘発される振動運動と、準振動的あるいはしばしば全く不規則の短周期の内部重力波の運動がある。これら種々の力学系は現在の報告期間の初めに、多数の調査論説で紹介された。〔Kellogg, 1963, 1964; Kochanski, 1963; Mac Donald, 1963〕。おのおのはその研究に対して新しく U. S の貢献がなされた限り再び以下に議論されている。しかしながら準備として、すべてのこれらの体系に橋渡しする観測を注視すること、及びデータ取得のテクニックでなしとげられた二つの主要な進歩をも亦注視することが適当である。

一般に、決定的な力学的データは、漂流し変形しつつある若干汚れた資料の痕跡を検出することから得られる。流星痕は、高度系列 80 - 110 km に対して自然のデータ源を供給するが、それらのあるものは地理学上の変動及び現世の発達の研究に於てのその大きな潜在力にも拘わらず合衆国では最近、あまり用いられていない。その代りに、熱圏高度 (thermospheric heights) での直接的な力学的測定に於て殆んどすべての U. S の努力は人工的に射出した水蒸気痕の使用に集中された。そのような測定からの多くの風のプロフィールは雑誌の文献〔例えば、Bedinger and Knaflich, 1966; Edwards, Cooksey, Justus, Fuller, Albritton, and Rosenberg, 1963; Edwards, Justus, and Kurts, 1963; Murphy et al, 1966; Rosenberg and Edwards, 1964; Rosenberg and Justus, 1966〕に加えられた。まだ論文や刊行物の形になつていないものもある。〔例えば、Fuller 1966 a, b; Manring et al 1964〕。この種のものでは Kochanski (1964, 1965, 1966) によつてもつとも完全なデータ解析がなされたし、彼はこの方にも論文を提出している。

テクニックそれ自身は、その痕跡資料として夜間任意の時間に熱圏の風と乱流の探知を可能にするところのトリメチル・アルミニウム (TMA) の導入によつて大きく進歩した。(Rosenberg et al, 1963)。その使用は痕跡を敷くための大砲発射 (gun-launched (HARP)) 車の導入によつて著しく促進された。〔Murphy et al, 1966〕。軌道の正確さと再現性、比較的高い反復率と適度な値段とともに、それは連続する風のプロフィールの総観

的研究について現実的可能性を導入した。

大循環

水蒸気痕のデータは大循環の明らかな決定を定めるためには数に於てまだ不十分である。ただ、水蒸気痕のデータと大循環とが一致することを認める試みはされているが〔Hines, 1966a; Kantor and Cole, 1964; Kochanski, 1964, 1965, 1966〕。夏の極のメゾ・ポーズ (mesopause) につくられる夜光雲は、メゾ・ポーズから熱圏にいたる上方への流れがあることを指摘した。(Chapman and Kendall, 1965; Webb, 1965)。この流れは熱圏の中の子午面循環を連想させ〔Kochanski, 1963〕、前に仮定した冬の極のメゾ・ポーズにおける沈降によつて完全なものとなる〔Kellogg, 1963〕。この沈降は循環の全球のパターンが暗示していたところのその温度を維持するために必要とされた非放射性熱源を供給するように祈願されてきた。一方の熱源が、成層圏ジェット・ストリームによつて送り出された音響学的エネルギーの形で、Maeda〔1964〕により研究され、そして待望するものが見出された。力学的消散であるもう一方の熱源が、冬のメゾ・ポーズに於てだけでなく下部熱圏を通じても潜在的に十分な貢献者として残るけれども〔Hines, 1965a; Newell et al, 1966〕。

全熱圏において、中性ガスの潮汐における非線型過程は、重要な卓越成分を大循環に貢献することができる〔Hines, 1966b〕。150kmとそれ以上の高度では、その循環は、昼間は hydromagnetic 過程によつて強く影響され、その結果として一部は潮汐に誘発された電場から制御され得る〔Hines, 1965b; Rishbeth et al, 1965〕。

潮汐振動

限られたデータ標本から潮汐成分の疑う余地のない解をきめることはたやすい仕事ではなく、それがなしとげられた幾分の主張は弱いものであるように示された〔Haurwitz, 1964〕。しかしながら流星層の風のスペクトル解析は、はつきりと定義した一日および半日の成分を与えることが見出され、多分三日の貢献さえも与えることが見出された〔Roper, 1966a〕。1日の潮汐の度量は、それ以上大きな高度に対しては水蒸気痕のデータから抽出され、そして120kmくらいの高さまで1,1モード(節)を示している〔Hines, 1966a; Kochanski, 1966〕。夜光雲によつて暗示されたメゾ・ポーズを通る上昇流は、Webb〔1966a, b〕によつて、彼が中間大気の中で見出したと思われる強い一日の潮汐を上方への拡張したものによつて起ると説明された。

初期のTMA痕のシーケンスは〔Rosenberg and Edwards, 1964〕、早晚下方に動くところの風の構造の屈折の多いパターンを顧わした、そしてこれらのパターンは半日潮の証明として確実に判断できるものであつた〔Hines, 1964a〕。別の場合における2, 4および

2, 6 モードの特別の鑑定が主張されたけれども (Zimmerman and Markos, 1966) その後続く解析はそのパターンとそれらの普通の生起との連続的關係 (Rosenberg and Justus, 1966) をより以上堅固に確立した。

一日潮の仮説は Lindzen (1966a, b) によつて過去に考えられていた固有モード (eigenmodes) の余数の組の導入とそしてまた日光浴の直接の結果として期待される振動の振巾の計算とともに進歩した。彼の結果は大きな高度における潮汐観測のいくつかの未解決の問題の解決に向かつて、特に主要な緯度変化に対する説明で (Hines, 1966c; Lindzen, 1966b) 役立っている。半日潮は、Lettan (1965) によつては変圧流としてとりあつかわれてきた。彼は上部大気の観測と一致する理論的結果をも示した。

人工衛星によつて顯示されている密度と気圧の巨大な昼夜の変化は (reviewed by Jacchia, 1966) 非常に大きな高度で、Lindzen (1966c) によつて論議されたように、多分大きな振巾の潮汐のような運動の局所的発生器として作用するであろう。しかしながら、問題の適当な扱いは局所的に発生した流れに抵抗する hydromagnetic 効果を編入し、そして基底となる発生器地域 (dynamoregion) から誘発される付加的成分を導かねばならないであろう。 (Hines, 1965b)

高一高度の潮汐は最近 Fejer (1964), Haurwitz (1964), と Hines (1966c) によつて論評された。

短周期重力波

高一高度で水蒸気痕によつて顯示された不規則な風の構造は、潮汐からと短周期からとの両方の貢献で、合理的に内部重力波のせいに行うことができる。多数の痕跡の解析は、(異なつた周期の波の間のこのエネルギーの分布はそのような解析だけで解決されるものではないけれども)、5 km を超える垂直の波長が 90 ~ 140 km の地域 (Noel, 1966) でエネルギーのより大きな部分まで含むことを顯示した。上記参照の論文から推論されるように、潮汐系は明らかに多くのエネルギーを含んでいる。しかし短周期の波 (1 ~ 3 時間のオーダーの) は分子の粘性 (Hines, 1966d) とそして強い小さなスケールの日変化成分であるという理想流体の予言にも拘わらず、渦動粘性 (Lindzen, 1966b) の存在でスペクトルの一層小さなスケールの部分を説明するため必要と思われる。

水蒸気痕のデータが Kochanski (1964, 1965, 1966) によつてやや詳細に解析され、それが一層短い周期の重力波に対する最もよい見積りを与えることが示された。データにある最も小さな垂直の波長は Zimmerman (1964) によつて検証され、そして重力波スペクトルから切離される小さなスケールと調和するものであることが彼によつて示された (Hines, 1964b により修正された)。重力波系 (そう考えられて来た) の間接的釈度 は温度の不規則な高度変化によつて供給されている (Knudsen and Sharp, 1965)。

熱圏に入る、あるいは熱圏の中での短周期重力波の波及における背景の風の構造の影響は

Hines と Reddy〔1966〕によつて解析された。温度構造によつて導入された対応する効果はFriedman〔1966〕によつてductingする(屈折率が高さとともに減少する)波の研究に含まれた。温度成層、粘性と熱的伝導性効果の結合はMidgleyやLiemohn〔1966〕によつて解析された。熱圏の底近くの放射過程による重力波スペクトルの増進あるいは抑制はLeovy〔1966〕によつて深く考えられたが、正常の状態では重要でないものように見られた。

これらの波の一般的性質と上部大気の力学に及ぼす らの貢献はHines〔1965c, 1966b, c〕によつて論評された。

乱流

高度系列90~105 km(近似的に)に於ての乱流は流星と人工の水蒸気痕の助けでもつて拡く調査された。単位質量当りのエネルギー消散の割合は多くは痕跡成長の解析から〔Noel, 1963; Roper, 1966b, c; Zimmerman, 1965, 1966; Zimmerman and Champion, 1963〕と、ある場合には、粘性の損失〔Justus, 1966〕と同様に浮力の消散を見越したところの共分散解析によつて決定された。その結果は $1-10 \text{ m}^2/\text{sec}^3$ の信じ難い高い値から $10^{-2} - 10^{-1} \text{ m}^2/\text{sec}^3$ のそれ以上あり得べからざる低い値にまでおよんでいる。($1 \text{ m}^2/\text{sec}^3$ は $80^\circ\text{K}/\text{day}$ の加熱率をつくる)。該当する高度における重力波エネルギーの消散は $10^{-1} \text{ m}^2/\text{sec}^3$ として評価され、かくしてもつともらしい源を供給する〔Hines, 1965a; Boper, 1966b〕。他方、乱流消散の年変化は一日潮の変化に従うことが見出された〔Roper, 1966c〕。そしてそれは二者いづれか一つの、或は補充の源を供給している。

渦拡散係数は、 $10^3-10^4 \text{ m}^2/\text{sec}$ の範囲にあるようにKellogg〔1964〕と Zimmerman and Champion〔1963〕によつて個々の水蒸気痕のデータから評価された。 $10^2-10^3 \text{ m}^2/\text{sec}$ の低い方の値が、熱圏の大きな温度プロフィール〔Johnson and Wilkins, 1965〕と、原子/分子酸素の比〔Colgrove et al, 1965〕の決定に於ける光化学的過程とのバランスから平均として推論された。

上部大気に於ける乱流パラメーター、過程それ自身、とそれらの効果が最近Cote〔1966〕とJohnson〔1966a〕によつて論評された。

結 論

前述の考察は第一に力学的作用の直接の測定とそれらの解釈に拘束されている。しかしながら、その作用の多くの間接的関係は、全系体を理解する洗張り屋に早晚貢献するであろう研究を起させる。既に言及したいくつかに加えて、これらは次ぎのものを含む。:

スプラディックE層の形成〔Axford, 1964; Layzer, 1964a, b; MacLeod, 1966; Rosenberg et al, 1963; Sporadic E Symposium, 1966; Wright, 1963; Wright and Fedor, 1966〕;

イオン化のもつと小さい不規則性の形成と外見上の移動〔Gossard, 1966; Gossard and Paulson, 1964; Keneshea et al, 1965; Merrill et al, 1968; Thome, 1964; Titheridge, 1963; Warwick, 1964; reviewed by Hines, 1964a, 1966b〕,

特にもつと低い層で同一視される源と関係して〔Maeda and Badillo, 1966; Row, 1966〕;

熱圏を通りぬける合成物と密度〔Johnson, 1966b; Narcisi, 1966; Walker and McElroy, 1966〕;

電離圏の層 (ionospheric layer) の維持と変調〔Brady and Crombie, 1963; Hanson and Patterson, 1964; Nicholson and Steiger, 1963; Thomas, 1964〕;

そして地磁気の変化〔Davis et al, 1965; Dewitt and Akasofu, 1965a, b; Fejer, 1964; Gupta, 1966; Hines 1965d; Wulf, 1963, 1965a, b〕

謝辞。この論評の準備は、承諾書 NSG-467 のもとに National Aeronautics and Space Administration によつて支持され、著者目録の準備に非常に貢献したところの R. N. Dewitt と R. K. Hauser および W. H. Hooke と W. J. Taffe によつて促進された。

(佐藤和敏紹介)

大気大循環

真鍋 淑 郎 (地球物理流体力学研究所
ワシントン D. C.)

解析的研究 大気のエネギー論は、過去8年間に発表された多くの解析的研究の主題となつてきた。Oort〔1964a〕は成層圏のエネギー・サイクルを調べ、下部成層圏で有効位置エネギーに転換している運動エネギーは対流圏からのエネギー補給によつて維持されているという結論をえた。対流圏では加熱の南北こう配によつて生成された有効位置エネギーが運動エネギーへ転換するが、このサイクルは、それとは逆である。Oort〔1964b〕はまた、多くの調査をめんみつて比較することによつて全大気のエネギー・サイクルを見積つた。波数空間のエネギー論の研究も、つづけている。波数間における、運動エネギーのパロトロピクな転換が500mb面について Saltzman & Teweles〔1964〕により、30mb面について Teweles〔1964〕により計算された。この結果によれば、500mb面では中間波数5-8の波が東西流を維持するのに重要であり、300mb面では波数1-4の波が主要な働きをする。これらの研究はOortの両圏におけるエネギー・ダイアグラムと同様に、成層圏と対流圏の

エネルギー論に重要な相異があることをはつきり示している。

大気エネルギー・サイクルでもつとも見積りにくい量の1つは分散の大きさである。Kung (1966a, 1966b) は北アメリカ大陸上の運動エネルギー・バランスの条件から、分散の鉛直分布を計算した。この分散が、ジェット流の層で、地球境界層と同じ位に大きいことを得たことは有意義である。同じ種類の研究はまず Holopainen (1964) が試みたが選んだ域がせまいために結論を得なかつた。この分散のメカニズムをより理解するために、自由大気のじょう乱のスペクトル構造に関したさらに進んだ研究が必要である。

大気エネルギー収支の季節変化の研究が注目をひくようになってきた。Wiin-Nielsen et al (1964) と Brown (1964) は非断熱加熱と運動量の輸送の季節変化とエネルギー・サイクルの季節変化を調べた。彼らは、冬の運動量と熱の極向き輸送およびエネルギー転換過程において超長波が重要であることを強調した。Kreuger et al (1965) は大気エネルギー・サイクルの季節変化を5年間にわたって調べた。彼らが見出した季節変化は sinusoidal な曲線から大きな偏りを示している (Kung (1966b) も見よ)。これに関連して、M. I. T. の V. P. Starr のグループが旅行者研究センター (Travelers Research Center, Inc.) の協力を得て、1958年5月から1963年4月までの5年間にわたり一貫した研究をしていることに注目しなければならない。これは存在している観測データセットとしては決定的なものであろう。

大気エネルギー論に関する重要な分野は大気の放射バランス分布である。読者は衛星気象学の章を参照されたい。

エネルギー論の研究は Obasi (1965) によつて南半球にまで拡張された。彼は、南半球では過渡じょう乱 (transient eddies) がじょう乱の運動エネルギーから東西流運動エネルギーへの転換に主要な役割を演じること、存続じょう乱 (standing eddies) は重要でないことを示唆した。さらに両半球の大循環の相異を比較する研究が、陸と海の効果に対する洞察を深めている。

大気エネルギー論の大胆な研究が Newell (1965) によつて試みられた。ロケット・データの解析にもとづいて、彼は中間層では運動量の北向き輸送に大規模じょう乱が重要な役割を演じること示した。この大規模じょう乱は有効位置エネルギーからの転換に依存していること、有効位置エネルギーはオゾンの太陽放射吸収による加熱の南北こう配によつて生成されることを示唆した。

Peixoto (1965) は北半球の水蒸気バランスの研究にもとづいて、大気大循環の維持に対する凝結熱の役割を論じた (たとえば、Starr et al (1965) を見よ)。読者の便宜をはかり次ぎのことを付け加えよう。つまり過去17年間、V. P. Starr の指揮のもとに、M. I. T. で行なわれた解析的研究が、最近 Starr & Soltzman (1966) によつてまとめられた。

数値的研究 大気の熱的・力学的構造を維持するいろいろな要素間には非線型的な関係があるので、大気大循環の研究には、理論的な積分モデルに高速度計算機を使用することがもつとも有効な方法の1つになっている。ある物理的因子を入れたときと入れないときの数値実験での結果を比較すると、大気大循環を維持するのに果すこの因子の役割がわかる。大循環の数値シミュレーションの実験は Phillips〔1965〕と Smogorinsky〔1958, 1963〕による先駆的試みのあとに、U.C.L.A.の気象学部のグループ、Livermoreのローレンス放射実験室、ESSAの地球物理流体力学実験室および最近ではNCARで行なわれている。幸運にも、計算技術の急速な発展は、これらのグループが数値実験をすることを可能にした。これらを簡単に述べる。

Mintz and Arakawa〔Mintz, 1965〕は Arakawa〔1966〕によつて考案された長期間積分可能な差分系を用いて全球大循環モデル（2層モデル）を組み立てた。山、熱容量のない陸および気候の温度分布を持った海が彼らの実験に組み入れられ、極めて実際と合つた風、温度および地上気圧分布が得られた。これらの結果は大気の気候学を維持する山と海陸の役割を明すのに非常に有益である（この主題については Saltzman による山と加熱効果の理論的研究を見よ）。

Smagorinsky et al.〔1965〕は大循環の9層モデルを組み立て、温度構造、熱と運動量の輸送および成層圏—対流圏—境界層系の力学的関連をシミュレートすることに成功した。たとえば、成層圏の運動エネルギーは対流圏からのエネルギー補給によつて維持されている。これは Oort〔1966〕の解析的研究の結果と一致している。この数値積分では、放射伝達は水蒸気、炭酸ガスおよびオゾン分布の関数として計算された。大気の温度構造を維持するためにこれら吸収体が果す役割は、Manabe & Strickler〔1964〕により、大気の放射対流平衡の研究の中で詳しく論じられている。

Manabe et al.〔1965〕は上述のモデルに凝結の効果を取り入れ、熱帯多雨帯や亜熱帯乾燥帯のような実際に近い特徴を持った降水や蒸発の南北分布を得た。彼らは上述の実験とこの実験から得られたものとを比較して大循環を維持するために果す凝結の役割を論じた。

Leith〔1965〕は海陸と凝結の効果を取り入れた5層モデルを考案した。彼の結果の詳細はまだ発表されていないが、フィルムはおおざっぱに実際によく合つた地上気圧、熱帯多雨帯および半日潮のような多くの興味ある特徴の変動を示した。彼のモデルには太陽放射を吸収したオゾンの加熱が入れてないにもかかわらず、実際と合つた振巾の半日潮を得たことは興味がある。

この章のはじめに述べた解析的研究がとらえていない実際大気の物理的特徴の多くがこれらの数値実験でシミュレートされたことは勇気を与える。したがつて、数値実験の結果を注意深く解析することにより、気候の人為的または不注意な Modificationの可能性を思索することがやがてできるだろう。気候 Modificationの可能性に関するこのような実験の意味は the Panel on Weather and Climate Modification of the

National Academy of Sciences〔1966〕の報告の中に詳しく論じられている。

Leovy〔1964〕は中間圏力学の問題に同様な追求を行なっている。彼は、光化学反応、パラメーター化した放射伝達および大規模力学を簡単化してとり入れた大循環モデルを組み立てた。中間圏における量的な特徴をいくつかシミュレートするのに成功しており、冬の極のメソポーズで非常な高温を維持するメカニズムについて興味ある説明をしている。

最近、Bryan〔1966b〕は海洋循環のパロクリニック・モデルの数値積分を行なつて、温度および力学構造に関する多くの解析的特徴をシミュレートすることに成功した。したがつて海洋と大気を組み合わせたモデルの数値積分が可能となるであろう。

これらの数値実験を可能にする重要な因子の一つは偏微分方程式系の差分に関する新しい技術の進歩である。Arakawa〔1966〕、Lilly〔1965〕およびBryan〔1966a〕の論文は非線型不安定〔Phillips, 1959〕を防いだエネルギー保存の差分法を論じた。

Kurihara〔1965a〕、Lilly〔1965〕、およびKasahara〔1965〕は時間接断誤差の問題に寄与している。Kurihara〔1965b〕は全球的な格子系を組み立てるすぐれた方法を提出した。

数値実験を行なうために大量の計算操作を必要とするので、モデルを簡単化する試みも行なわれている。Lorenz〔1960〕は大気の流れを表わすのに、数少ない直交関数を使用して、計算量を徹底的に減らすことを提出した。この切断されたFourier組数のモデルはいくつかの問題に適用することに成功した。最近 Kraus & Lorenz〔1966〕はこのモデルを用いて季節変化と100年間の気候変動を論じている。Peng〔1965〕は成層圏循環の数値シミュレーションにこの種のモデルを用いた。

その他の試みがAdem〔1965〕とSmagorinsky〔1964〕によつて行なわれている。大規模じょう乱の統計的動態をAustausch公式によつてパラメーター化し、Ademは大気の温度構造をシミュレートすることに成功した。数値実験から得られた経験にもとづいて、Smagorinsky〔1964〕は運動量輸送と熱輸送との間の関係を仮定して大気大循環の輸送維持をシミュレートすることに成功した。このような研究は気候の長期にわたる変動の研究に簡単化したモデルが有益であることを示唆している。

(久保田 効 紹介)

極 気 象

Norbert Untersteiner (シアトル市ワシントン大学)

Rubin〔1968年〕の最近の報告の中で、極気象についての最も重要な唯一のできごとは、おそらく、極圏にNimbusやESSA衛星の作動が成功したことであろう。発表された結果が

たとえ見込み (Nordberg等1966年, Predoehl 1966年) よりもむずかしいとしても、極地域における雲の分布状態、熱収支、地上気温、それに海水の被覆状態に関する大きな進歩が、この新しい観測機械から期待できる。もう一つの最近の発展は、GHOSTシステム (Global Horizontal Sounding Technique) であり、それは同時送信機を備えつけた定高度気球からなっている。第1回の放球は1966年6月にニュージーランドのクリスチャーチから、試験気球の一つが74日間にわたって200 mbの高度に漂流され、地球を8回まわった (Anonymous 1966年a)。南極に於ける試験飛行は1966年から1967年の夏にわたって行なわれ、そのときには二つの気球が100日以上も飛んだ。これらの気球はとりつけられた測器の使用と高緯度の追跡観測所によつて、極の大気を観察するのに重要な計画となることが期待される。

南極に於ては、アメリカ気象局が基本的な地上および上層の観測を継続的に行ない、“南極観測所の気候学的資料”として定期的に発表した。1966年1月、プラトウ・ステーション (高地観測所) と呼ばれる一つの新しい利器が南緯79度、東経40度、高度3400 mの所に確立された。そこではいろいろな計画、とりわけ気象、微気象、氷河についての観測計画を持った。(Anonymous 1966年b)。南極で行なわれている気象研究についての報告の新しい源となつているのは、1966年1月からアメリカの国立科学財団と、アメリカ海軍予備隊によつて隔月に発行されているアメリカ南極ジャーナルである。現在のプログラムには成層圏環流の解析ラジオメーターゾンデで計る放射流出発散量、南極圏界面の作用、それに南半球の環流に関係するうず度分布の研究などが含まれている (Weyant 1966年b)。高地とそれに近接した海上の大気アルベドの測定結果 (Spano 1965年; Predoehl と Spano 1965年) は、北極の同様な観測結果と比較されるであろう。

いくつかの巾広い成果が発表された。すなわち、Rubin (1964年)、Rubin と Wegant (1965年) によつて南極気象の概論、アメリカ海軍世界気候地図 (アメリカ海軍作戦本部 1965年) の南極編、南極に於ける対流圏と下部成層圏の気候の載つたアメリカ地理学会の南極地図二つ折りシリーズの近刊 (アメリカ地理学会 1966年)、とくに不凍海域について力を入れた南極気候についての討論 (Wegant 1966年a)、Dalrymple (1966年) の南極高地の物理的な気候についての叙述などである。Haurwitz (1966年) によつて南極気象および南極の氷河についての有益な概要が得られた (1966年)。

南極上の大循環の研究は、垂直運動による自由大気の気温変化と、周極うずの非対称の説明、そして一般の熱と質量の収支を関係づけることを目ざした (Schwerdtfeger 1962年; Rubin と Wegant 1963年; Schwerdtfeger 1966年; Vickers 1966年; また Barnes 1963年参照)。極夜期間の毎日の気温変化は (Barrigar 1963年)、なお物理的な解説が待たれる。南極大陸の日および半日の気圧の振動は Carpenter (1963年; Lettau が注釈 1965年) によつて解析された。Dalrymple等 (1966年) に

よる南極点の微気候のプログラムの決定的な評価は、境界層の気象に関する一つの重要な貢献であり、そして二つの山風に関する研究〔Mather と Miller 1966年; Lettau 1966年〕によつて補充された。南極の境界層のプロフィールは、McVehil〔1964年〕によつて、多数のRichardson 番号の log-linear の理論のテストに用いられた。降水量が基準となるもので計られないということを考慮して、年間降雪量という言葉でいわれる雪の層疊記録の解釈には十分な注意をはらう必要がある。雪抗の層疊記録の解析〔Gow 1965年〕はアイソトープの解析〔Croaz 等 1964年; Epstein 等 1965年; Craig が注釈 1966年〕のようによく用いられる。南極点に於ては過去200年間に降水量が約50パーセントはつきり増加している証拠を示し〔Giovinetto と Schwerdtfeger 1966年〕、そしてこのことは南極に於て数多く証明された温暖化傾向と一致する〔たとえばNichols 1964年、彼はまた早くから言及している〕。さらに多くの地域気象資料が氷河期の研究〔Stuart と Bull 1963年; Giovinetto 1963年; Behrendt 1965年, Giovinetto 等1966年〕やBull〔1966年〕によるヴィクトリア地方南部の不凍地域の気候の報告などに含まれている。地表のオゾンと全オゾン量それに垂直分布の観測は、極点と、Byrd, Hallet 観測所に於て収集され、Aldaz〔1965年〕によつて解析された。リトルアメリカと南極点観測所に於ける地表の二酸化炭素の濃度は少々の季節変化と、ハワイのマウナ・ロアで発見されたのに匹敵する程の永年にわたる増加を示している〔Brown と Keeling 1965年〕。

北極では、気象観測のルーチンのプログラムが1966年に流氷島のT-3と呼ばれる地上気象およびラジオゾンデ観測所によつて増加した。Vaeth〔1965年〕は北極の気象を観察するために大きな飛行船を利用することに成功した。その外の気象要素の観測プログラムは定期的なバードアイと呼ばれる北極海上の氷の偵察飛行である〔アメリカ海軍海洋研究所〕。

5年間にわたるラジオゾンデの資料に基づく六つの北極観測所の上層気温と密度に関する広範な統計が Engberg と Belmont〔1964年〕によつて得られた。グリーンランド上のメソスケールの気象、前線、気団、それにラージスケールの流線図などについての広範な研究として〔アメリカ気象局1962年; Putnins 1963年〕、Schallert〔1963年〕が日平均の地上風の調和成分を計算した〔Fletcher〔1966年〕等の中のPutnins を参照〕。通常の気候学的な通報を含む非常にたくさんの報告〔Hastings 1961年; Gerdel 1963年; Hogue 1964年; Kniskern と Potocsky 1965年; Stehle 1965年〕が工学の応用に力を入れて発表されたが、それには人工的に霧をヘリコプターからの洗い落としによつて消散させる方法〔Hicks 1965年a〕や、種まきによつて白くないように制御する法〔Giusto と Mee 1964年; Hicks 1965年b〕や、アラスカのRampart ダム貯水池の依頼による降水量を変えさせること〔Henry 1965年〕などが含まれている。目に見える消散; 閃光、それに積雪上の境界層に於ける気温と風のプロフィールなどの関係については Ryznar〔1963年〕やPortman等〔1964年〕によつて調査された。アラスカのFairb-

anks に於ける氷霧問題の研究の進歩については、Kumai と O'Brien(1964年) それに Gotaas と Benson(1965年) が報告し、Benson(1965年) がぼう大な報告を集約した。そしてまた、それには大気汚染と健康状態についての討論が含まれ、その防止策の可能性について示唆を行なっている。

アラスカの Barrow に於ける微気象学的な研究については、Miyake(1965年) によつて不均質な地表面上の境界層の変化を理解する上に、また、Sommerfeld と Businger(1965年) それに Busingar(1965年) によつて風に吹かれる雪の物理を理解する上に非常な貢献がなされた。同様に放射気候学(Kelley 等 1963年; Stroschein 1964年; Lieske 1964年; Lieske と Stroschein 1967年)、大気に含まれる二酸化炭素の解析(Kelley 1964年)、海氷の粗さのパラメーター(Untersteiner と Badgley 1965年) などについても寄与する所が大であった。

アラスカの Barrow におこつた破壊的な大潮(1963年10月)の力学について Schaffer(1966年)が数学的モデルを用いて解析を行なつた。海水と空気の相互作用の現象としての海氷の問題は重要な題目となつている。Knudle(1964年) は海氷の吹き寄せの予報法をみつけ、Campbell(1965年) は北極海の海氷の風による運行を説明する詭弁的・理論的なモデルを明らかにした。Untersteiner(1963年, 1964年) と Fletcher(1965年) は地表に於ける熱収支の量的な計算を行なつた。Donn と Shaw(1966年) は、もし氷が移動すれば、その時の条件下ではそれ自身再び結氷することがないという結論に達した。4年間に出版された最も重要な出版物は北極に於ける熱収支と大気大循環に関するシンポジウムの会議録で、それには26の心ひかれる論文の中でアメリカの著者(上述に関連して後に名簿を記入した)による16の寄稿文が含まれている。すなわち、広大な場をカバーした大気の数値モデルの組み立て(Mintz と Arakawa; Leith, Kasahara と Washington; Berkofsky と Shapiro; Crowley)、北極大気と海表面の熱と氷の収支の評価(Fletcher, Untersteiner, Wittman と Schule, Badgley, Businger)、シノブチックな研究(Putnins)、遠隔地の理由と海洋と大気の相互作用(Bjerknes, Mitchell, Coachman)などである。これらの会議録はまた、研究グループの報告も含まれ、その中には現在の最も重要な問題を割当てる試みがなされ、将来の研究方針が勧告されている。

(時 田 正 康 紹 介)

昭和42年度LFグループ会計収支(42.4.1~43.3.31)

収 入		支 出	
会 費	127,500 円	印刷費 5巻2,3号,別刷,6巻1,2合併号	145,900 円
貯 金 利 子	3,978	発送事務連絡費	3,044
グロスベッター在庫譲渡	3,800	雑 費	1,710
前年度より繰越	72,878	次年度への繰越	56,997
	207,651 円		207,651 円

氣候變化

- Angell, J. K., and J. Korshover, Quasi-biennial variations in temperature, total ozone, and tropopause height, *J. Atmospheric Sci.*, 21, 479-492, 1964.
- Angell, J. K., and J. Korshover, Biennial variations in springtime temperatures and total-ozone amounts in extra-tropical latitudes (unpublished manuscript, ESSA), 1966.
- Baerreis, D. A., and R. A. Bryson, Historical climatology and the southern plains: a preliminary statement, *Bull. Oklahoma Anthropological Soc.*, 13, 69-75, 1965a.
- Baerreis, D. A., and R. A. Bryson, Climatic episodes and the dating of the Mississippian cultures, *Wisconsin Archaeologist*, 46, 1965b.
- Belmont, A. D., D. G. Dartt, and M. S. Ulstad, The 10.7-cm solar flux and the 26-month oscillation, *J. Atmospheric Sci.*, 23, 314-319, 1966.
- Bowen, R., *Paleotemperature Analysis*, 265 pp., Elsevier, New York, 1966.
- Brier, G. W., Evidence for a longer period tidal oscillation in the tropical atmosphere, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 92, 284-289, 1966 (See also correspondence, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 93, 126-131, 1967.)
- Brier, G. W., and D. A. Bradley, The lunar synodic period and precipitation in the United States, *J. Atmospheric Sci.*, 21, 386-395, 1964.
- Broecker, W. S., Glacial rebound and the deformation of the shorelines of postglacial lakes, *J. Geophys. Res.*, 71, 4777-4783, 1966a.
- Broecker, W. S., Absolute dating and the astronomical theory of glaciation, *Science*, 151, 299-304, 1966b.
- Bryson, R. A., Recent climatic episodes in North America, *Proceedings of the Southeastern Archaeological Conference*, 78-81, 1965.
- Bryson, R. A., and P. R. Julian, Proceedings of the Conference on the Climate of the Eleventh and Sixteenth Centuries, *Natl. Center Atmospheric Res. Tech. Notes 68-1*, 1963.
- Coleman, J. M., and W. G. Smith, Late recent rise of sea level, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 75, 833-840, 1964.
- Conolly, J. R., and M. Ewing, Ice-rafted detritus as a climatic indicator in Antarctic deep-sea cores, *Science*, 150, 1822-1824, 1965.
- Cox, A., R. R. Doell, and G. B. Dalrymple, Geomagnetic polarity epochs and Pleistocene geochronology, *Nature*, 198, 1049-1051, 1963.
- Curry, R. R., Glaciation about 3,000,000 years ago in the Sierra Nevada, *Science*, 154, 770-771, 1966.
- Damon, P. E., A. Long, and D. C. Grey, Fluctuation of atmospheric C¹⁴ during the last six millennia, *J. Geophys. Res.*, 71, 1055-1063, 1966.
- Doell, R. R., G. B. Dalrymple, and A. Cox, Geomagnetic polarity epochs; Sierra Nevada data, 3, *J. Geophys. Res.*, 71, 349-357, 1966.
- Donn, W. L., and M. Ewing, A theory of ice ages III, *Science*, 152, 1706-1712, 1966.
- Donn, W. L., and D. Shaw, The heat budgets of an ice-free and an ice-covered Arctic Ocean, *J. Geophys. Res.*, 71, 1087-1093, 1966.
- Eardley, A. J., Polar rise and equatorial fall of sea level, *Am. Sci.*, 52, 488-497, 1964.
- Emiliani, C., Isotopic paleotemperatures, *Science*, 154, S51-S57, 1966a.
- Emiliani, C., Paleotemperature analysis of Caribbean cores P 6304-8 and P 6304-9 and a generalized temperature curve for the past 425,000 years, *J. Geol.*, 74, 109-124, 1966b.
- Ericson, D. B., M. Ewing, and G. Wollin, The Pleistocene epoch in deep-sea sediments, *Science*, 146, 723-732, 1964.
- Fletcher, J. O., *The Heat Budget of the Arctic Basin and Its Relation to Climate, Report R-444-PR*, Rand Corporation, Santa Monica, California, 1965.
- Fritts, H. C., Tree-ring evidence for climatic changes in western North America, *Monthly Weather Rev.*, 93, 421-443, 1965.
- Fritts, H. C., Growth-rings of trees: their correlation with climate, *Science*, 154, 973-979, 1966.
- Hays, J., Radiolaria and late Tertiary and Quaternary history of the Antarctic Sea, in *Biology of the Antarctic Seas II, Antarctic Research Series*, Vol. 5, edited by G. Llano, pp. 125-183, American Geophysical Union, 1965.
- Higgins, C. G., Causes of relative sea level changes, *Am. Sci.*, 53, 464-476, 1965.
- Jerzykiewicz, M., and K. Serkowski, The sun as a variable star 3, *Lowell Obs. Bull.* 137, 6(18), 295-323, 1967.
- Jose, P. D., Sun's motion and sunspots, *Astron. J.*, 70, 193-200, 1965.
- Kraus, E. B., and E. N. Lorenz, A numerical study of the effect of vertical stability on monsoonal and zonal circulations, in *Changes of Climate*, pp. 361-372, Unesco, Paris, 1963.
- Kraus, E. B., and E. N. Lorenz, Numerical experiments with large-scale seasonal forcing, *J. Atmospheric Sci.*, 23, 3-12, 1966.
- Krinsley, D., and W. Newnan, Pleistocene glaciation: a criterion for recognition of its onset, *Science*, 149, 442-443, 1965.
- Kutzbach, J. E., R. A. Bryson, and W. C. Shen, An evaluation of the thermal Rossby number in the Pleistocene, in *Causes of Climatic Change*, Meteorological Monograph, American Meteorological Society, in press, 1967.
- Landsberg, H. E., J. M. Mitchell, Jr., H. L. Crutcher, and F. T. Quinlan, Surface signs of the biennial atmospheric pulse, *Monthly Weather Rev.*, 91, 549-556, 1963.
- Lindzen, R. S., Radiative and photochemical processes in mesospheric dynamics, 2, Vertical propagation of long-period disturbances at the equator, *J. Atmospheric Sci.*, 23, 334-343, 1966.
- Lorenz, E. N., The problem of deducing the climate from the governing equations, *Tellus*, 16, 1-11, 1964.
- Mintz, Y., Very long-term global integration of

- the primitive equations of atmospheric motion, *World Meteorol. Organ. Tech. Note 66*, 141-155, 1965.
- Mitchell, J. M., Jr., On the world-wide pattern of secular temperature change, in *Changes of Climate*, pp. 161-180, Unesco, Paris, 1963.
- Mitchell, J. M., Jr., Theoretical paleoclimatology, in *The Quaternary of the United States*, pp. 881-901, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1965a.
- Mitchell, J. M., Jr., The Seventh INQUA Congress—contribution to paleoclimatology, *Trans. Am. Geophys. Union*, 46, 645-648, 1965b.
- Mitchell, J. M., Jr., The solar inconstant, in *Proceedings of the Seminar on Possible Responses of Weather Phenomena to Variable Extra-Terrestrial Influences*, Natl. Center Atmos. Res., Tech. Note TN-8, pp. 155-174, 1965c.
- Mitchell, J. M., Jr., B. Dzerdzevskii, H. Flohn, W. L. Hofmeyr, H. H. Lamb, K. N. Rao, and C. C. Wallen, Climatic change, *World Meteorol. Organ. Tech. Note 79*, 1966.
- Mitchell, J. M., Jr., and H. E. Landsberg, Comments on paper by D. Shaw, 'Sunspots and temperatures,' *J. Geophys. Res.*, 71, 5487-5489, 1966.
- Opdyke, N. D., B. Glass, J. D. Hays, and J. Foster, Paleomagnetic study of antarctic deep-sea cores, *Science*, 154, 349-357, 1966.
- Reed, R. J., A tentative model of the 26-month oscillation in tropical latitudes, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 90, 441-466, 1964.
- Reed, R. J., The present status of the 26-month oscillation, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 46, 374-387, 1965.
- Saltzman, B., Surface boundary effects on the general circulation and macro-climate: a review of the theory of the quasi-stationary perturbations in the atmosphere, in *Causes of Climatic Change*, Meteorological Monograph, American Meteorological Society, in press, 1967.
- Shaw, D., Sunspots and temperatures, *J. Geophys. Res.*, 70, 4997-4999, 1965.
- Smagorinsky, J., General circulation experiments with the primitive equations, *Monthly Weather Rev.*, 91, 99-164, 1963.
- Staley, D. O., A partial theory of the 26-month oscillation of the zonal wind in the equatorial stratosphere, *J. Atmospheric Sci.*, 20, 506-515, 1963.
- Suess, H. E., Secular variations of the cosmic-ray-produced carbon 14 in the atmosphere and their interpretations, *J. Geophys. Res.*, 70, 5937-5952, 1965.
- Tanner, W. F., Causes and development of an ice age, *J. Geol.*, 73, 413-430, 1965.
- Wallace, J. M., and R. E. Newell, Eddy fluxes and the biennial stratospheric oscillation, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 92, 481-489, 1966.
- Ward, W. T., Eustatic and climatic history of the Adelaide area, South Australia, *J. Geol.*, 73, 592-602, 1965.
- Weyl, P. K., The role of the oceans in climatic change: a theory of the ice ages, in *Causes of Climatic Change*, Meteorological Monograph, American Meteorological Society, in press, 1967.
- Willett, H. C., Solar-climatic relationships in the light of standardized climatic data, *J. Atmospheric Sci.*, 22, 120-136, 1965.
- Wilson, A. T., Origin of ice ages: an ice shelf theory for Pleistocene glaciation, *Nature*, 201, 147-149, 1964.
- Wilson, A. T., Variation in solar insolation to the south polar region as a trigger which induces instability in the antarctic ice sheet, *Nature*, 210, 477-478, 1966.
- Wright, H. E., Jr., and D. G. Frey, Eds., *The Quaternary of the United States*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1965.

熱帶氣象

- (NZ) New Zealand Meteorological Service, *Proceedings of the Symposium on Tropical Meteorology*, Rotorua, New Zealand, 5-13 November, 1963, New Zealand Meteorological Service, Wellington, 737 pp., 1964.
- (MX-A) Proc. Third Tech. Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorol. 1, *Geofisica Internacional*, 3, 53-178, 1963.
- (MX-B) Proc. Third Tech. Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorol., 2, *Geofisica Internacional*, 4, 48-264, 1964.
- (MX-C) Proc. Third Tech. Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorol., 3, *Geofisica Internacional*, 5, 31-154, 1965.
- Bedient, H. A., and J. Vederman, Computer analysis and forecasting in the tropics, *Monthly Weather Rev.*, 92, 565-577, 1964.
- Brier, G. W., Evidence for a longer period tidal oscillation in the tropical atmosphere, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 92, 284-289, 1966.
- Charney, J. G., A note on large-scale motions in the tropics, *J. Atmospheric Sci.*, 20, 607-609, 1963.
- Charney, J. G., and A. Eliassen, On the growth of the hurricane depression, *J. Atmospheric Sci.*, 21, 68-75, 1964.
- Erickson, C. O., An incipient hurricane near the West African Coast, *Monthly Weather Rev.*, 91, 61-68, 1963.
- Fett, R. W., Upper-level structure of formative tropical cyclones, *Monthly Weather Rev.*, 94, 9-18, 1966.
- Fritz, S., L. F. Hubert, and A. Timchalk, Some inferences from satellite pictures of tropical disturbances, *Monthly Weather Rev.*, 94, 231-236, 1966.
- Gilman, P. A., The mean meridional circulation of the southern hemisphere inferred from momentum and mass balance, *Tellus*, 17, 277-284, 1965.

上部大気の力学

- Gray, W. M., On the scales of motion and internal stress characteristics of the hurricane, *J. Atmospheric Sci.*, **23**, 278-288, 1966.
- Koss, W. J., Objective analysis of pressure height data for the tropics, *Monthly Weather Rev.*, **94**, 237-257, 1966.
- Krishnamurti, T. N., and D. Baumhelfner, Structure of a tropic disturbance based on solutions of a multilevel baroclinic model, *J. Appl. Meteorol.*, **5**, 396-406, 1966.
- Kuo, H. L., On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection, *J. Atmospheric Sci.*, **22**, 40-63, 1965.
- Malkus, J. S., and H. Riehl, *Cloud Structure and Distribution over the Tropical Pacific Ocean*, 229 pp., University of California Press, Berkeley, 1964.
- Merritt, E. S., Easterly waves and perturbations, a reappraisal, *J. Appl. Meteorol.*, **3**, 367-382, 1964.
- Ogura, Y., Frictionally controlled, thermally driven circulations in a circular vortex with application to tropical cyclones, *J. Atmospheric Sci.*, **21**, 610-621, 1964.
- Ramage, C. S., The summer atmospheric circulation over the Arabian Sea, *J. Atmospheric Sci.*, **23**, 144-150, 1966.
- Reed, R. J., The present status of the 26-month oscillation, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **46**, 374-387, 1965.
- Riehl, H., Progress in tropical meteorology, *Trans. Am. Geophys. Union*, **44**, 410-412, 1963.
- Rosenthal, S. L., Some preliminary theoretical considerations of tropospheric wave motions in equatorial latitudes, *Monthly Weather Rev.*, **93**, 605-612, 1965.
- Rosenthal, S. L., and R. W. Reaves, Some elementary theoretical considerations of the relationships between wind and pressure in low latitudes, *Monthly Weather Rev.*, **95**, 11-19, 1967.
- Sadler, J. C., Tropical cyclones of the eastern North Pacific as revealed by Tiros observations, *J. Appl. Meteorol.*, **3**, 347-366, 1964.
- Starr, V. P., and J. M. Wallace, Mechanics of eddy processes in the tropical troposphere, *Pure Appl. Geophys.*, **58**, 138-144, 1964.
- Simpson, J., R. H. Simpson, J. R. Stinson, and J. W. Kidd, Stormfury cumulus experiments: Preliminary results 1965, *J. Appl. Meteorol.*, **5**, 521-525, 1966.
- Simpson, R. H., and J. S. Malkus, Experiments in hurricane modification, *Sci. Am.*, **211**, 27-37, 1964.
- World Meteorological Organization, *Fifth Report on the Advancement of Atmospheric Sciences and Their Application in Light of Developments in Outer Space*, World Meteorological Society, Geneva, 27 pp., 1966.
- Yanai, M., Formation of tropical cyclones, *Rev. Geophys.*, **2**, 367-414, 1964.
- Axford, W. I., Comments on 'Generalization and critique of the wind-shear theory of sporadic E' by David Layzer, *J. Geophys. Res.*, **69**, 5093-5097, 1964.
- Axford, W. I., and D. M. Cunnold, The wind-shear theory of temperate zone sporadic E, *Radio Sci.*, **1**, 191-198, 1960.
- Bedinger, J. F., and H. B. Knaflich, Observed characteristics of ionospheric winds, *Radio Sci.*, **1**, 156-168, 1966.
- Brady, A. H., and D. D. Crombie, Studying the lunar tidal variations in the D region of the ionosphere by means of very-low-frequency phase observations, *J. Geophys. Res.*, **68**, 5437-5451, 1963.
- Chapman, S., and P. C. Kendall, Noctilucent clouds and thermospheric dust; their diffusion and height distribution, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **91**, 115-131, 1965.
- Colgrove, F. D., W. B. Hanson, and F. S. Johnson, Eddy diffusion and oxygen transport in the lower thermosphere, *J. Geophys. Res.*, **70**, 4931-4941, 1965.
- Cote, O., Turbulence and eddy coefficients deduced from vapor trails, *COSPAR R2 Symposium on Interaction between the Neutral Part and the Ionized Part of the Atmosphere*, Vienna, 1966.
- Davis, T. N., J. D. Stolarick, and J. P. Heppner, Rocket measurements of S_z currents at mid-latitude, *J. Geophys. Res.*, **70**, 5883-5894, 1965.
- DeWitt, R. N., and S. I. Akasofu, Dynamo action in the ionosphere and motions of the magnetospheric plasma, *Planetary Space Sci.*, **13**, 729-736, 1965.
- Edwards, H. D., M. M. Cooksey, C. G. Justus, R. N. Fuller, D. L. Albritton, and N. W. Rosenberg, Upper-atmosphere wind measurements determined from twelve rocket experiments, *J. Geophys. Res.*, **68**, 3021-3032, 1963.
- Edwards, H. D., C. G. Justus, and D. C. Kurts, Evening twilight winds from 68 to 140 kilometers for May 21, 1963, *J. Geophys. Res.*, **68**, 6062-6065, 1963.
- Fejer, J. A., Atmospheric tides and associated magnetic effects, *Rev. Geophys.*, **2**, 275-309, 1964.
- Friedman, J. P., Propagation of internal gravity waves in a thermally stratified atmosphere, *J. Geophys. Res.*, **71**, 1033-1054, 1966.
- Fuller, R. N., Upper atmosphere winds from gun launched vertical probes, *BRL Contract 169, Rept. 1*, Ballistics Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Md., 1966a.
- Fuller, R. N., Upper atmosphere winds from gun launched vertical probes, *BRL Contract 169, Rept. 2*, Ballistics Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, Md., 1966b.

- Gossard, E. E., Turbulent and wave structures in the distribution of ionization, *COSPAR R2 Symposium on Interaction between the Neutral Part and the Ionized Part of the Atmosphere*, Vienna, 1966.
- Gossard, E. E., and M. R. Paulson, An interpretation of rapid changes in the phase of horizontally polarized VLF waves recorded at night over a short path in the southwestern United States, *Radio Sci.*, 68D, 265-274, 1964.
- Gupta, J. C., Lunar geomagnetic variations, *Nature*, 212, 602, 1966.
- Hanson, W. B., and T. N. L. Patterson, The maintenance of the night-time *F* layer, *Planetary Space Sci.*, 12, 979-997, 1964.
- Haurwitz, B., Tidal phenomena in the upper atmosphere, *World Meteorol. Organization Tech. Note* 58, 1964.
- Hines, C. O., Ionization irregularities in the *E*-region, *J. Atmospheric Terrest. Phys.*, 25, 304-306, 1963.
- Hines, C. O., Ionospheric movements and irregularities, chapter 12 in *Research in Geophysics, 1: Sun, Upper Atmosphere and Space*, edited by H. Odishaw, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1964a.
- Hines, C. O., Minimum vertical scale sizes in the wind structure above 100 kilometers, *J. Geophys. Res.*, 69, 2847-2848, 1964b.
- Hines, C. O., The formation of midlatitude sporadic *E* layers, *J. Geophys. Res.*, 69, 1018-1019, 1964c.
- Hines, C. O., Dynamical heating of the upper atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 70, 177-183, 1965a.
- Hines, C. O., Comments on 'The rotational speed of the upper atmosphere determined from changes in satellite orbits' by D. G. King-Hele, *Planetary Space Sci.*, 13, 169-172, 1965b.
- Hines, C. O., Atmospheric gravity waves: A new toy for the wave theorist, *Radio Sci.*, 69D, 375-380, 1965c.
- Hines, C. O., Wind-induced magnetic fluctuations, *J. Geophys. Res.*, 70, 1758-1761, 1965d.
- Hines, C. O., Diurnal tide in the upper atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 71, 1453-1459, 1966a.
- Hines, C. O., Ionospheric dynamics, with emphasis on the *E* region, *URSI General Assembly*, Munich, 1966b.
- Hines, C. O., Tidal oscillations, shorter-period gravity waves, and shear waves, *COSPAR R2 Symposium on Interaction between the Neutral Part and the Ionized Part of the Atmosphere*, Vienna, 1966c.
- Hines, C. O., On the analysis and interpretation of winds observed at heights of 85 to 135 kilometers: A rebuttal, *J. Geophys. Res.*, 71, 1461-1475, 1966d.
- Hines, C. O., and C. A. Reddy, Reflection and transmission of gravity waves in regions of wind shear, *ICMUA Symposium on Interaction between Upper and Lower Layers of the Atmosphere*, Vienna, 1966.
- Jacchia, L. G., Density variations in the heterosphere, *Ann. Geophys.*, 22, 75-85, 1966.
- Johnson, F. S., Turbopause processes and effects, *COSPAR R2 Symposium on Interaction between the Neutral Part and the Ionized Part of the Atmosphere*, Vienna, 1966a.
- Johnson, F. S., Density of an exosphere, *Ann. Geophys.*, 22, 86-91, 1966b.
- Johnson, F. S., and E. M. Wilkins, Thermal upper limit on eddy diffusion in the mesosphere and lower thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 70, 1281-1284, 1965.
- Justus, C. G., Energy balance of turbulence in the upper atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 71, 3767-3773, 1966.
- Kantor, A. J., and A. E. Cole, Zonal and meridional winds to 120 kilometers, *J. Geophys. Res.*, 69, 5131-5140, 1964.
- Kellogg, W. W., The upper atmosphere, *Trans. Am. Geophys. Union*, 44, 413-416, 1963.
- Kellogg, W. W., Pollution of the upper atmosphere by rockets, *Space Sci. Rev.*, 3, 275-316, 1964.
- Keneshea, T. J., M. E. Gardner, and W. Pfister, Analysis of ionospheric winds and turbulence over Puerto Rico with a correlation method, 1, *J. Atmospheric Terrest. Phys.*, 27, 7-30, 1965.
- Knudsen, W. C., and G. W. Sharp, Evidence for temperature stratification in the *E* region, *J. Geophys. Res.*, 70, 143-160, 1965.
- Kochanski, A., Circulation and temperatures at 70- to 100-kilometer height, *J. Geophys. Res.*, 68, 213-226, 1963.
- Kochanski, A., Atmospheric motions from sodium cloud drifts, *J. Geophys. Res.*, 69, 3651-3662, 1964.
- Kochanski, A., Atmospheric phenomena in the height region from 70 to 160 km, chapter 7 in *The Circulation in the Stratosphere, Mesosphere and Lower Thermosphere*, *World Meteorol. Organ., Tech. Note* 70, 1965.
- Kochanski, A., Atmospheric motions from sodium cloud drifts at four locations, *Monthly Weather Rev.*, 94, 199-212, 1966.
- Layzer, D., Generalization and critique of the wind-shear theory of sporadic-*E*, *J. Geophys. Res.*, 69, 1853-1860, 1964a.
- Layzer, D., Reply, *J. Geophys. Res.*, 69, 5098-5104, 1964b.
- Leovy, C. B., Photochemical destabilization of gravity waves near the mesopause, *J. Atmospheric Sci.*, 23, 223-231, 1966.
- Lettau, B., Tidal motions in the high atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 70, 3255-3263, 1965.
- Lindzen, R. S., On the theory of the diurnal tide, *Monthly Weather Rev.*, 94, 295-301, 1966a.
- Lindzen, R. S., Diurnal tides in the atmosphere, *ICMUA Symposium on Interaction between Upper and Lower Layers of the Atmosphere*, Vienna, 1966b.
- Lindzen, R. S., Crude estimate for the zonal velocity associated with the diurnal temperature oscillation in the thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 71, 865-870, 1966c.

- MacDonald, G. J. F., Circulation and tides in the high atmosphere, *Planetary Space Sci.*, 10, 79-87, 1963.
- MacLeod, M. A., Sporadic-E theory, 1, Collision-geomagnetic equilibrium, *J. Atmospheric Sci.*, 23, 96-109, 1966.
- Maeda, K., On the acoustic heating of the polar night mesosphere, *J. Geophys. Res.*, 69, 1381-1395, 1964.
- Maeda, K., and V. L. Badillo, Equatorial spread-F and tropospheric tropical disturbances, *J. Atmospheric Sci.*, 23, 812-815, 1966.
- Manning, E., J. Bedinger, H. Knaflich, and D. Layzer, An experimentally determined model for the periodic character of winds from 85 to 135 km, *NASA Contractor Rept. CR-36*, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D. C., 1964.
- Merrill, R. G., R. S. Lawrence, and N. J. Roper, Synoptic variations and vertical profiles of large-scale, ionospheric irregularities, *J. Geophys. Res.*, 68, 5453-5459, 1963.
- Midgley, J. E., and H. B. Liemohn, Gravity waves in a realistic atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 71, 3729-3748, 1966.
- Murphy, C. H., G. V. Bull, and H. D. Edwards, Ionospheric winds measured by gun-launched projectiles, *J. Geophys. Res.*, 71, 4535-4544, 1966.
- Narcisi, R. S., Ion composition measurements and related ionospheric processes in the D and lower E regions, *Ann. Geophys.*, 22, 224-234, 1966.
- Newell, R. E., J. R. Mahoney, and R. W. Lenhard, Jr., A pilot study of the small-scale wind variation in the stratosphere and mesosphere, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 92, 41-54, 1966.
- Nicholson, J. R., and W. R. Steiger, On lunar semidiurnal tidal variations in the F₂ layer of the ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 68, 3577-3580, 1963.
- Noel, T. M., A measurement of turbulent power and small eddy scale near 105 kilometers, *J. Geophys. Res.*, 68, 2862-2863, 1963.
- Noel, T. M., Estimate of spectral energy density applied to vertical profiles of the horizontal wind in the lower ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 71, 5749-5752, 1966.
- Rishbeth, H., L. R. Megill, and J. H. Cahn, The effect of ion-drag on the neutral air in the ionospheric F-region, *Ann. Geophys.*, 21, 235-244, 1965.
- Roper, R. G., The semidiurnal tide in the lower thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 71, 5746-5748, 1966a.
- Roper, R. G., Dissipation of wind energy in the height range 80 to 140 kilometers, *J. Geophys. Res.*, 71, 4427-4428, 1966b.
- Roper, R. G., Atmospheric turbulence in the meteor region, *J. Geophys. Res.*, 71, 5785-5792, 1966c.
- Rosenberg, N. W., and H. D. Edwards, Observations of ionospheric wind patterns through the night, *J. Geophys. Res.*, 69, 2819-2826, 1964.
- Rosenberg, N. W., H. D. Edwards, and J. W. Wright, Ionospheric winds: Motions into night and sporadic E correlations, *Space Res.*, 4, 171-181, 1964.
- Rosenberg, N. W., D. Golomb, and E. F. Allen, Jr., Chemiluminescence of trimethyl aluminum released into the upper atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 68, 5895-5898, 1963.
- Rosenberg, N. W., and C. G. Justus, Space and time correlations of ionospheric winds, *Radio Sci.*, 1, 149-155, 1966.
- Row, R. V., Evidence of long-period acoustic-gravity waves launched into the F region by the Alaskan earthquake of March 28, 1964, *J. Geophys. Res.*, 66, 343-345, 1966.
- Sporadic-E Seminar, Proceedings, *Radio Sci.*, 1(2), 1966.
- Thome, G. D., Ionospheric scatter observations of traveling ionospheric disturbances, *J. Geophys. Res.*, 69, 4047-4049, 1964.
- Titheridge, J. E., Large-scale irregularities in the ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 68, 3399-3417, 1963.
- Walker, J. C. G., and M. B. McElroy, Diffusion in the lower ionosphere at night, *J. Geophys. Res.*, 71, 3779-3780, 1966.
- Warwick, J. W., Radio-star scintillations from ionospheric waves, *Radio Sci.*, 68D, 179-188, 1964.
- Webb, W. L., Morphology of noctilucent clouds, *J. Geophys. Res.*, 70, 4463-4475, 1965.
- Webb, W. L., Stratospheric tidal circulations, *Rev. Geophys.*, 4, 363-375, 1966a.
- Webb, W. L., Circulation of the middle and upper atmosphere, *COSPAR R2 Symposium on Interaction between the Neutral Part and the Ionized Part of the Atmosphere*, Vienna, 1966b.
- Wright, J. W., The lifetime and movement of artificially produced electron clouds observed with spaced ionosondes, *J. Geophys. Res.*, 68, 3011-3020, 1963.
- Wright, J. W., and L. S. Fedor, Comparison of ionospheric drift velocities by the spaced receiver technique with neutral winds from luminous rocket trails, *COSPAR R2 Symposium on Interaction between the Neutral Part and the Ionized Part of the Atmosphere*, Vienna, 1966.
- Wulf, O. R., A possible effect of atmospheric circulation in the daily variation of the Earth's magnetic field, *Monthly Weather Rev.*, 91, 520-526, 1963.
- Wulf, O. R., A possible effect of atmospheric circulation in the daily variation of the Earth's magnetic field, 2, *Monthly Weather Rev.*, 93, 127-132, 1965a.
- Wulf, O. R., On winds in the lower ionosphere and variations of the Earth's magnetic field, *Monthly Weather Rev.*, 93, 555-661, 1965b.
- Zimmerman, S. P., Small-scale wind structure above 100 kilometers, *J. Geophys. Res.*, 69, 784-785, 1964.

- Zimmerman, S. P., Turbulent atmospheric parameters by contaminant deposition, *J. Appl. Meteorol.*, **4**, 279-288, 1965.
- Zimmerman, S. P., Parameters of turbulent atmospheres, *J. Geophys. Res.*, **71**, 2439-2444, 1966.
- Zimmerman, S. P., and K. S. W. Champion, Transport processes in the upper atmosphere, *J. Geophys. Res.*, **68**, 3049-3056, 1963.
- Zimmerman, S. P., and F. A. Markos, Measurement of tidal oscillations in the upper atmosphere, *ICMUA Symposium on Interaction between Upper and Lower Layers of the Atmosphere*, Vienna, 1966.

大氣大循環

- Adem, J., Long range numerical weather prediction experiments, *WMO Tech. Note No. 66*, 141-161, WHO-IUGG Symposium on Research and Development Aspect of Long Range Forecasting, Boulder, Colorado, 1964, Geneva, 1965.
- Arakawa, A., Computational design for long term numerical integration of the equation of fluid motion: Two-dimensional incompressible flow, *J. Computational Phys.*, **1**, 119-143, 1966.
- Brown, J. A., Jr. A diagnostic study of tropospheric diabatic heating and the generation of available potential energy, *Tellus*, **16**, 371-387, 1964.
- Bryan, K., A scheme for numerical integration of the equations of motion on an irregular grid free of non-linear instability, *Monthly Weather Rev.*, **93**(1), 39-40, 1966a.
- Bryan, K., A numerical investigation of the oceanic general circulation, *Tellus*, **18**, 1966b.
- Buch, H. S., Hemispheric wind condition during the year 1950, 126 pp., *Final Rept., Part 2, Contract AF 19-122-153, General Circulation Project*, Dept. of Meteorology, Massachusetts Institute of Technology, 1954.
- Holopainen, E. O., Investigation of friction and diabatic process in the atmosphere, *Societas Scientiarum Fennica Commentationes Physico-Mathematicae*, **29**(9), 47 pp., 1964.
- Kasahara, A., On certain finite-difference method for fluid dynamics, *Monthly Weather Rev.*, **93**, 27-31, 1965.
- Kraus, E. B., and E. N. Lorenz, Numerical experiments with large scale forcing, *J. Atmospheric Sci.*, **23**, 3-12, 1966.
- Kreuger, A. F., J. S. Winston, and D. A. Haines, Computation of atmospheric energy and its transformation for the northern hemisphere for a recent five-year period, *Monthly Weather Rev.*, **93**, 227-233, 1965.
- Kung, E. C., Kinetic energy generation and dissipation in the large scale atmospheric circulation, *Monthly Weather Rev.*, **94**, 67-82, 1966a.
- Kung, E. C., Large scale balance of kinetic energy in the atmosphere, *Monthly Weather Rev.*, **94**, 627-640, 1966b.
- Kurihara, Y., On the use of implicit and iterative methods for the time integration, *Monthly Weather Rev.*, **93**, 33-46, 1965a.
- Kurihara, Y., Numerical integration of the primitive equations on a spherical grid, *Monthly Weather Rev.*, **93**(7), 399-415, 1965b.
- Leith, C. E., Numerical simulation of the Earth's atmosphere, *Methods in Computational Physics*, vol. 4, pp. 1-28, Academic Press, New York, 1965.
- Leovy, C., Simple model of thermally driven mesospheric circulation, *J. Atmospheric Sci.*, **21**, 327-341, 1964.
- Lilly, D. K., On the computational stability of numerical solution of time-dependent non-linear geophysical fluid dynamics problems, *Monthly Weather Rev.*, **93**, 11-26, 1965.
- Lorenz, E. N., Maximum simplification of the dynamic equation, *Tellus*, **12**, 243, 1960.
- Manabe, S., and R. F. Strickler, On the thermal equilibrium of the atmosphere with convective adjustment, *J. Atmospheric Sci.*, **21**, 361-385, 1964.
- Manabe, S., J. Smagorinsky, and R. F. Strickler, Physical climatology of a general circulation model with a hydrologic cycle, *Monthly Weather Rev.*, **93**, 769-793, 1965.
- Mintz, Y., Very long term global integration of the primitive equation of atmospheric motion, *WMO Tech. Note 66*, WMO-IUGG Symp. Res. Develop. Aspects of Long Range Forecasting, 141-161, Boulder, Colorado, 1964, Geneva, 1965.
- Newell, R. E., The energy and momentum budget of the atmosphere above the tropopause, *Problem of Atmospheric Circulation*, edited by R. V. Garcia and T. F. Malone, pp. 106-126, Sparten Books, Washington, D. C., 1965.
- Obasi, G. O. P., On the maintenance of the kinetic energy of mean zonal flow in the southern hemisphere, *Tellus*, **17**, 95-105, 1965.
- Oort, A. H., On the energetics of the mean and eddy circulation in the lower stratosphere, *Tellus*, **16**, 309-327, 1964a.
- Oort, A. H., On the estimates of the atmospheric energy cycle, *Monthly Weather Rev.*, **92**, 483-493, 1964b.
- Panel on Weather and Climate Modification, *Weather and Climate Modification, Problems and Prospects*, vol. 2, *Res. Devel. Publ. 1350*, National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D. C., 1966.
- Peixoto, J., On the role of water vapor in the energetics of the general circulation of the atmosphere, *Physica*, **4**, 135-170, 1965.
- Peng, Li, A simple numerical experiment concerning the general circulation in the lower stratosphere, *Pure Appl. Geophys.*, **61**, 191-218, 1965.
- Phillips, N. A., The general circulation of the atmosphere: a numerical experiment, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **82**, 123-164, 1956.
- Phillips, N. A., An example of non-linear computational instability, *The Atmosphere and the*

- Sea in Motion*, pp. 501-504, Rockefeller Institute Press in association with Oxford University Press, New York, 1959.
- Saltzman, B., and S. Teweles, Further statistics on the exchange of kinetic energy between harmonic components of the atmospheric flow, *Tellus*, 16, 432-435, 1964.
- Saltzman, B., On the theory of the winter-average perturbations in the troposphere and stratosphere, *Monthly Weather Rev.*, 93, 195-211, 1965.
- Smagorinsky, J., On the numerical integration of the primitive equations of motion for a baroclinic flow in a closed region, *Monthly Weather Rev.*, 86, 457-466, 1958.
- Smagorinsky, J., General circulation experiments with the primitive equations, 1, The basic experiment, *Monthly Weather Rev.*, 93, 99-164, 1963.
- Smagorinsky, J., Some aspects of the general circulation, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 93, 1-14, 1964.
- Smagorinsky, J., S. Manabe, and J. L. Holloway, Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere, *Monthly Weather Rev.*, 93, 727-768, 1965.
- Starr, V. P., J. P. Peixoto, and A. R. Crisi, Hemispheric water balance for IGY, *Tellus*, 17, 461-472, 1965.
- Starr, V. P., and B. Saltzman, Observational studies of the atmospheric general circulation, *Mass. Inst. Technol. Scientific Tech. Rept. 2*, Contract AF 19(628)-5816, 1966.
- Teweles, S., The energy balance of the stratosphere, *WMO Tech. Note 70*, 107-122, 1964.
- Wiin-Nielsen, A., J. A. Brown, and M. Drake, Further studies of energy exchange between the zonal flow and the eddies, *Tellus*, 16, 168-180, 1964.
- Calif., 1963.
- Behrendt, J. D., Densification of snow in the ice sheet of Ellsworth Land and the southern Antarctic Peninsula, *J. Glaciol.*, 5, 451-460, 1965.
- Benson, C. S., Ice fog: Low temperature air pollution, *Geophys. Inst., Univ. Alaska, UAG-R-173*, 134 pp., 1965.
- Brown, C. W., and C. D. Keeling, The concentration of atmospheric carbon dioxide in Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 70, 6077-6085, 1965.
- Bull, C., Climatological observations in ice-free areas of southern Victoria Land, in *Studies in Antarctic Meteorology, Antarctic Res. Ser.*, vol. 9, American Geophysical Union, 1966.
- Businger, J. A., Eddy diffusion and settling speed on blown snow, *J. Geophys. Res.*, 70, 3307-3313, 1965.
- Campbell, W. J., The wind-driven circulation of ice and water in a polar ocean, *J. Geophys. Res.*, 70, 3279-3301, 1965.
- Carpenter, T. H., The distribution of the semi-diurnal pressure oscillation on the antarctic continent, *J. Geophys. Res.*, 68, 2211-2215, 1963.
- raig, H., Discussion of paper by S. Epstein, R. P. Sharp, and A. J. Gow, 'Six-year record of oxygen and hydrogen isotope variations in south pole firn,' *J. Geophys. Res.*, 71, 1287-1288, 1966.
- Crozaz, G., E. Picciotto, and W. DeBreuck, Antarctic snow chronology with Pb²¹⁰, *J. Geophys. Res.*, 69, 2597-2604, 1964.
- Dalrymple, P. C., A physical climatology of the Antarctic Plateau, in *Studies in Antarctic Meteorology, Antarctic Res. Ser.*, vol. 9, American Geophysical Union, 1966.
- Dalrymple, P. C., H. Lettau, and S. H. Wollaston, South pole micrometeorology program: Data analysis, in *Studies in Antarctic Meteorology, Antarctic Res. Ser.*, vol. 9, American Geophysical Union, 1966.
- Donn, W. L., and D. M. Shaw, The heat budgets of an ice-free and an ice-covered Arctic Ocean, *J. Geophys. Res.*, 71, 1087-1093, 1966.
- Engberg, L. W., and A. D. Belmont, Arctic stratospheric temperatures and densities, *Final Rept., Appl. Sci. Div., Litton Systems Inc., Minneapolis, Minn., Contract AF 19(628)-333*, 223 pp., 1964.
- Epstein, S., R. P. Sharp, and A. J. Gow, Six-year record of oxygen and hydrogen isotope variations in south pole firn, *J. Geophys. Res.*, 70, 1809-1814, 1965.
- Fletcher, J. O., The heat budget of the Arctic Basin and its relation to climate, *The RAND Corp., R-44-PR*, 179, pp., 1965.
- Fletcher, J. O., editor, *Proceedings of the Symposium on the Arctic Heat Budget and Atmospheric Circulation, The RAND Corp., RM-5233-NSF*, 567 pp., 1966:
- Y. Mintz and A. Arakawa, Simulation of global climate;
- C. E. Leith, Numerical simulation of the Earth's atmosphere;

極 氣 象

- Aldaz, L., Atmospheric ozone in Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 70, 1767-1773, 1965.
- American Geographical Society, Antarctic Map Folio Series, edited by V. C. Bushnell; Folio 4, The Antarctic atmosphere: Climatology of the troposphere and the lower stratosphere (text by W. S. Weyant), New York, 1966.
- Anonymous, 'GHOST,' A progress report on the southern hemisphere experiment, *Atmospheric Res., NCAR, 1*, 1966a.
- Anonymous, United States antarctic activities, long-range projection, *Antarctic J. U. S.*, 1, 86-87, 1966b.
- Barnes, A. A., Analysis of the U and V fields in the vicinity of the poles, *Monthly Weather Rev.*, 90, 37-40, 1963.
- Barrigar, D. B., Statistical investigations of the diurnal temperature variation during the polar night at McMurdo Sound, Antarctica, Thesis, U. S. Naval Postgraduate School, Monterey,

- A. Kasahara and W. M. Washington, A report on the general circulation experiments at NCAR;
- L. Berkofsky and R. Shapiro, An investigation of the effects of high-level heating in the large-scale circulation of the lower atmosphere;
- W. P. Crowley, Experiments on ocean-atmosphere interactions;
- J. O. Fletcher, The arctic heat budget and atmospheric circulation;
- N. Untersteiner, Calculating thermal regime and mass budget of sea ice;
- W. I. Wittmann and J. J. Schule, Comments on the mass budget of arctic pack ice;
- F. I. Badgley, Heat budget at the surface of the Arctic Ocean;
- J. A. Businger, Transfer of momentum and heat in the planetary boundary layer;
- P. Putnins, The influence of Greenland on the general atmospheric circulation;
- J. Bjerknes, Atmospheric teleconnections responding to equatorial anomalies of ocean temperature;
- J. M. Mitchell, Stochastic models of air-sea interaction and climate fluctuations;
- L. K. Coachman, Production of supercooled water during sea ice formation.
- Gerdel, R. W., Filling the gap in cold regions environmental data, in *Proc. Inst. Environ. Sci.*, pp. 229-240, 1963.
- Giovinetto, M. B., Glaciological studies on the McMurdo-south pole traverse, 1960-1961, *Inst. Polar Studies, Ohio State Univ.*, Rept. 7, 1963.
- Giovinetto, M. B., and W. Schwerdtfeger, Analysis of a 200-year snow accumulation series from the South Pole, *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol.*, A, 15, 227-250, 1966.
- Giovinetto, M. B., E. S. Robinson, and C. W. M. Swinbank, The regime of the western part of the Ross ice shelf drainage system, *J. Glaciol.*, 6, 55-68, 1966.
- Gotaas, Y., and C. S. Benson, The effect of suspended ice crystals on radiative cooling, *J. Appl. Meteorol.*, 4, 446-453, 1965.
- Gow, A. J., On the accumulation and seasonal stratification of snow at the south pole, *J. Glaciol.*, 5, 467-477, 1965.
- Hastings, A. D., Atlas of arctic environment, U. S. Quartermaster Res. Eng. Center, Environmental Protection Res. Div., Rept. RER-33, 1961.
- Haurwitz, B., Harry Wexler memorial lecture on antarctic exploration, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 47, 258-274, 1966.
- Henry, D. M., Evaluation of possible changes in precipitation resulting from the proposed Rampart dam reservoir, Alaska, *CRREL, Tech. Rept. 147*, 18 pp., 1965.
- Hicks, J. R., Experiments on the dissipation of warm fog by helicopter-induced air exchange over Thule A. B., Greenland, *CRREL Spec. Rept. 87*, 7 pp., 1965a.
- Hicks, J. R., Summary of whiteout studies, *CRREL Tech. Rept. 158*, 20 pp., 1965b.
- Hogue, D. W., Environment of the Greenland ice cap, U. S. Army Natick Lab., *Tech. Rept. 119*, 119 pp., 1964.
- Jiusto, J. E., and T. R. Mee, Project whiteout: An investigation of whiteout dissipation techniques, *CRREL Res. Rept. 148*, 14 pp., 1964.
- Kelley, J. J., An analysis of carbon dioxide in the arctic atmosphere at Point Barrow, Alaska, *Univ. Washington, Dept. Atmospheric Sci., Contract Nonr 477(24), Sci. Rept. 5*, 167 pp., 1964.
- Kelley, J. J., D. T. Bailey, and B. J. Lieske, Radiative energy exchange over arctic land and sea, *Univ. Washington, Dept. Atmospheric Sci., Contract Nonr 477(24), Sci. Rept. 3*, 125 pp., 1963.
- Kniskern, F. E., and G. J. Potocsky, Frost degree days, related ice thickness curves, and harbor freeze-up and break-up dates for selected arctic stations, *U. S. Naval Oceanog. Off., Tech. Rept. TR-60*, 1965.
- Knodle, W. C., A computer program for forecasting the wind drift of sea ice, U. S. Naval Postgraduate School, Monterey, Calif., 45 pp., 1964.
- Kumai, M., and H. W. O'Brien, A study of ice fog nuclei at Fairbanks, Alaska, 2, *CRREL Res. Rept. 150*, 14 pp., 1964.
- Lettau, B., Comments on T. H. Carpenter: The distribution of the semi-diurnal pressure oscillation on the antarctic continent, *J. Geophys. Res.*, 70, 3509-3510, 1965.
- Lettau, B., A case study of katabatic flow on the south polar plateau, in *Studies in Antarctic Meteorology, Ant. Res. Ser.*, vol. 9, American Geophysical Union, 1966.
- Lieske, B. J., Net radiation over fast ice during spring break-up at Point Barrow, Alaska, *Proc. Alaska Sci. Conf.*, 52-60, 1964.
- Lieske, B. J., and L. A. Stroschein, Measurements of radiative flux divergence in the Arctic, *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol.*, in press, 1967.
- Mather, K. B., and G. S. Miller, Wind drainage off the high plateau of eastern Antarctica, *Nature*, 209, 281-284, 1966.
- McVehil, G. E., Wind and temperature profiles near the ground in stable stratification, *Quart. J. Roy Meteorol. Soc.*, 90, 136-146, 1964.
- Miyake, M., Transformation of the atmospheric boundary layer over inhomogeneous surfaces, *Univ. Washington, Dept. Atmospheric Sci., Contract Nonr 477(24), Sci. Rept. 6*, 63 pp., 1965.
- Nichols, R. L., Snowdrift-ice slabs and historic antarctic climate warming, *J. Glaciol.*, 5, 345-351, 1964.
- Nordberg, W., A. W. McCulloch, L. L. Foshee, and W. R. Bandeen, Preliminary results from Nimbus 2, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 47, 857-872, 1966.
- Portman, D. J., E. Ryznar, F. C. Elder, and V. E. Noble, Visual resolution and optical scintilla-

- tion over snow, ice, and frozen ground, *CRREL Res. Rept. 111*, 32 pp., 1964.
- Predoehl, M., Antarctic polar ice; Boundaries established from Nimbus I pictures, *Science*, 153(3783), 861-863, 1966.
- Predoehl, M., and A. Spano, Airborne albedo measurements over the Ross Sea, October-November 1962, *Monthly Weather Rev.*, 93(11), 687-696, 1965.
- Putnins, P., Studies on the meteorology in Greenland, *U. S. Weather Bur., Proj. DA-3A99-27-005, 2nd Interim Rept.*, 1963.
- Rubin, M. J., Polar meteorology, *Trans. Am. Geophys. Union*, 44, 403-406, 1963.
- Rubin, M. J., Antarctic weather and climate, in *Research in Geophysics*, vol. 2, pp. 461-478, Massachusetts Institute of Technology Press, 1964.
- Rubin, M. J., and W. S. Weyant, Mass and heat budget of the antarctic atmosphere, *Monthly Weather Rev.*, 91, 487-493, 1963.
- Rubin, M. J., and W. S. Weyant, in Antarctic meteorology, *Antarctica*, edited by Hatherton and Trevor, Methuen, London, 1965.
- Ryznar, E., Visual resolution and optical scintillation in stable stratification over snow, *J. Appl. Meteorol.*, 2, 526-530, 1963.
- Schafer, P., Computation of a storm surge at Barrow, Alaska, *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol., Ser. A.*, 16, 372-393, 1966.
- Schallert, W. L., Harmonic components of the monthly mean diurnal variation of surface wind speed, in *Studies on the Meteorology in Greenland*, edited by P. Putnins, *U. S. Weather Bur. Proj. DA-3A99-27-005, 2nd Interim Rept.*, 1963.
- Schwerdtfeger, W., Southern circumpolar vortex and the spring warming of the polar stratosphere, in *Univ. Wisc., Dept. Meteorol., Empirical and Theoretical Studies of Atmospheric Energetics, Contract Cwb-10240, Ann. Rept.*, pp. 19-44, 1962.
- Schwerdtfeger, W., On the asymmetry of the southern circumpolar vortex in winter, *Antarctic J. U. S.*, 1, 198, 1966.
- Sommerfeld, R., and J. A. Businger, The density profile of blown snow, *J. Geophys. Res.*, 70, 3303-3306, 1965.
- Spano, A. F., Results of an airborne albedo program in Antarctica, *Monthly Weather Rev.*, 93, 697-703, 1965.
- Stehle, N. S., Polar weather limitations on construction: Preliminary arctic survey, *U. S. Naval Civil Eng. Lab., Tech. Rept. R-391*, 1965.
- Stroschein, L. A., An automated radiation climatology station at Point Barrow, Alaska, *Proc. Alaska Sci. Conf.*, 61-72, 1964.
- Stuart, A. W., and C. Bull, Glaciological observations on the Ross ice shelf near Scott Base, Antarctica, *J. Glaciol.*, 4, 399-414, 1963.
- U. S. Weather Bureau, Studies on the meteorology of Greenland, *Proj. DA-3A99-27-005, 1st Interim Rept.*, 1962.
- U. S. Naval Oceanographic Office, 'Birds Eye' data, *Informal Manuscript Repts.*, Washington, D. C.
- U. S. Office of Naval Operations, *U. S. Navy Marine Climatic Atlas of the World, 7, Antarctic*, 1965.
- Untersteiner, N., Ice budget of the Arctic Ocean (and comment by W. I. Wittmann), in *Arctic Basin Symposium, Hershey, Pa., Oct. 1962, Proceedings*, pp. 219-230, 1963.
- Untersteiner, N., Calculations of temperature regime and heat budget of sea ice in the central Arctic, *J. Geophys. Res.*, 69, 4755-4766, 1964.
- Untersteiner, N., and F. I. Badgley, The roughness parameters of sea ice, *J. Geophys. Res.*, 70, 4573-4577, 1965.
- Vaeth, J. G., Airborne arctic weather ships, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 46, 50-53, 1965.
- Vickers, W. W., A study of ice accumulation and tropospheric circulation in western Antarctica, in *Studies in Antarctic Meteorology*, edited by M. J. Rubin, *Antarctic Res. Ser.*, vol. 9, American Geophysical Union, 1966.
- Weyant, W. S., The Antarctic climate, in *Antarctic Soils and Soil Forming Processes*, edited by J. C. S. Tedrow, *Antarctic Res. Ser.*, vol. 8, pp. 47-59, American Geophysical Union, 1966a.
- Weyant, W. S., Interdisciplinary research program in antarctic meteorology, *Antarctic J. U. S.*, 1, 199-200, 1966b.

Yale Mintz 講演「大気大循環の数値シミュレーション および地球と火星の気候」の紹介

と き 1968年3月28日

ところ 気象庁会議室

内容は下記の2つの論文にもとづいている。

1. Yale Mintz 1964: Very Long-Term Global Integration of the Primitive Equations of Atmospheric Motion. Proceedings of the WMO / IUGG Symposium on the Research and Development Aspects of Long-Range Forecasting, Boulder, Colorado June 29 - July 4.

2. C. B. Leovy and Y. Mintz 1968 : Numerical Simulation of the General Atmosphere Circulation and Climate on Mars. Administrative report AR-362-JPL.

1は Dry Model によつて冬期の大気大循環をシミュレートした数値実験であるが、この論文はいろいろなところで紹介されている(たとえば、オメガ編集部 1965: IUGG大気科学委員会の報告について、OMEGA Vol. 5, No. 1, p 8-52) のでここでは省略する。

2のモデルは Mintz と荒川によつて開発されたプリミティブ方程式つまり静力学方程式、水平運動量方程式、熱力学エネルギー方程式および気圧傾向方程式を用いる*。2層モデルである。つまり温度 T 、風ベクトル \underline{V} はシグマ座標 $\sigma = \frac{1}{2}$ (level 11, 200°K等温大気の場合13.5 km) と $\frac{3}{4}$ (level 13, 200°K等温大気の場合8.0 km) で、地上気圧 π が $\sigma = 1$ (level 14, 地表面) で計算される。平面格子は経度は9°毎、緯度は7°Sから7°Nまで7°毎および両極点で全部で922点について与えられる。ただ風の東西成分のみは961点について与えられる。風と気温は鉛直方向に線型であるとする。時間ステップは1火星日/240 である。

火星大気の成分はCO₂: 5 mb、N₂: 2.5 mbとする。火星表面がCO₂の露点温度146.4°K (気圧7.5 mb のとき) にまで冷却すると、潜熱を放出して、表面上に凝結する。

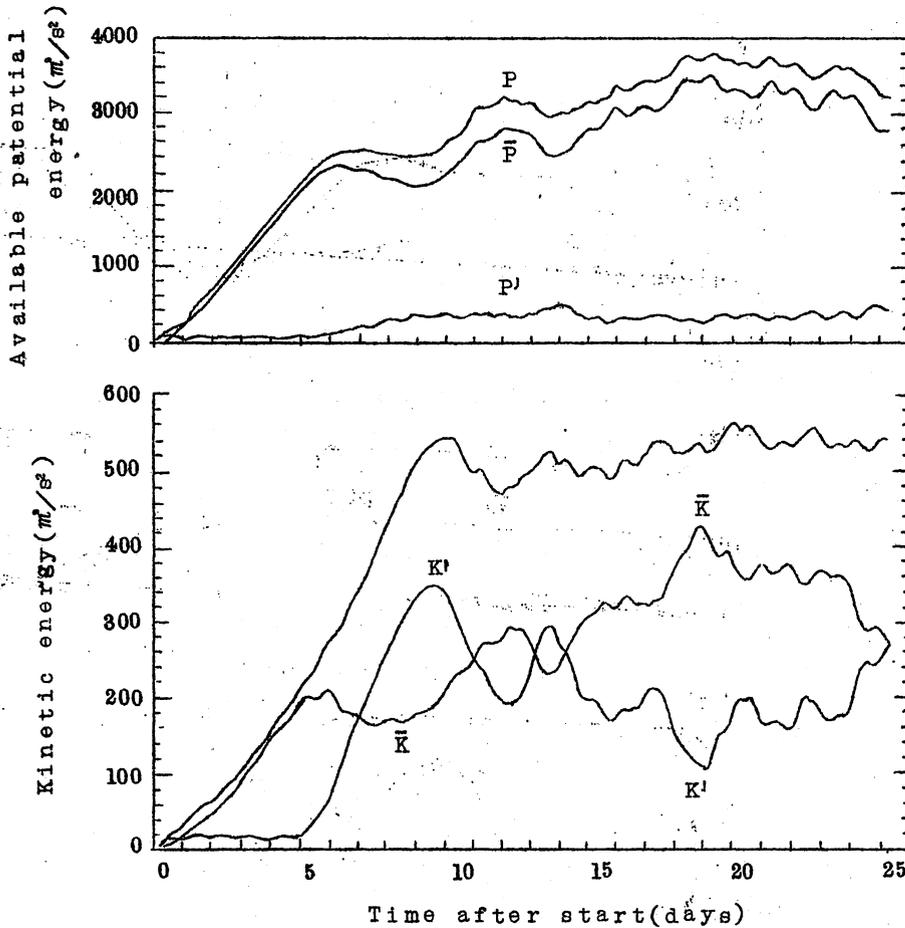
熱力学エネルギー方程式における非断熱項は、太陽放射吸収による加熱、長波放射放出による冷却および乱流や対流などによる顕熱が考慮される。火星表面では太陽放射、長波放射、顕熱、伝導および潜熱がバランスするとする。太陽放射吸収は太陽高度の関数として与えられる。

水平運動量方程式に現われる摩擦項は鉛直・水平方向についても考慮されるが水平方向のもの

は小さい。

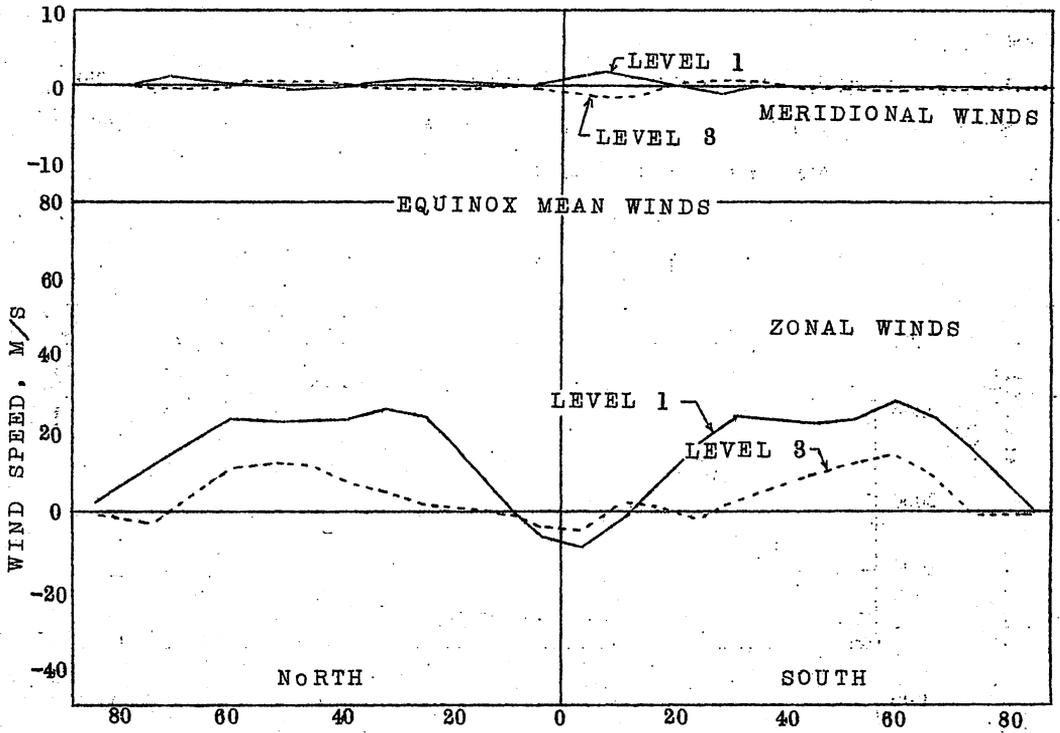
さて、数値実験は火星南半球が秋分のときと夏至のときの場合について行なう。初期条件として静止等温(200K)大気から出発する。約10日で平衡に達する(図1)。16日目から25日目までの平均をとりそれを気候値とする。

第 1 図

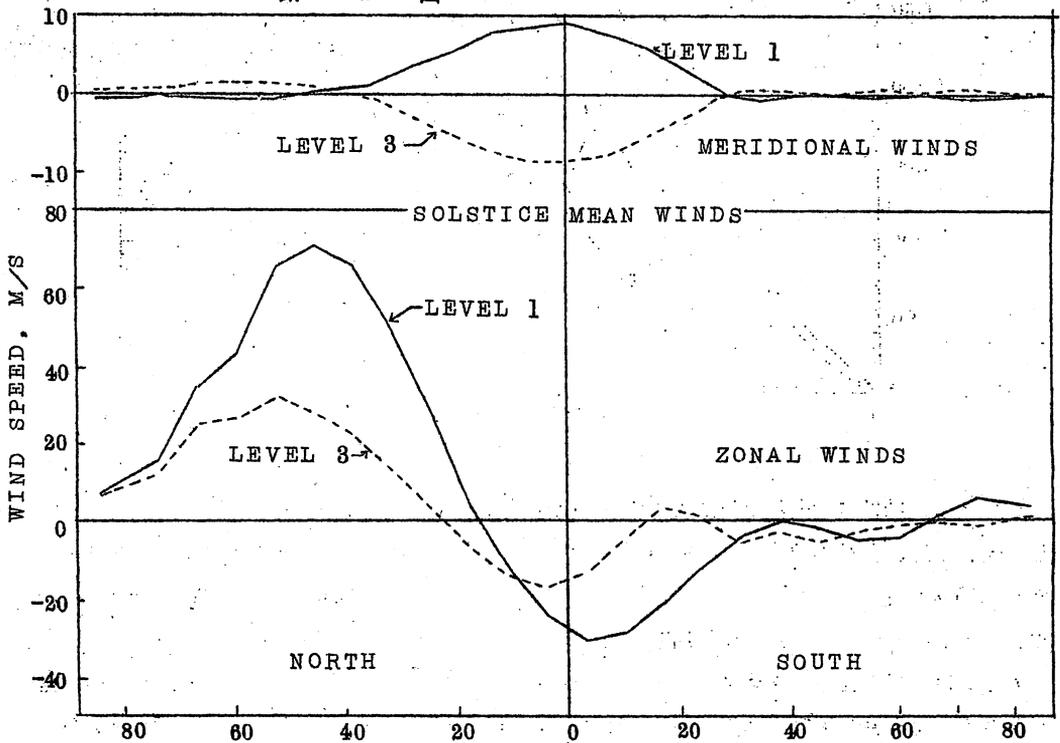


数値実験の結果は、火星の気候についてと総観過程について論じられる。気候については、気温、風、気圧、非断熱項および摩擦項についてそのプロフィールが与えられる。大気によるエネルギー、渦動(eddy)および角運動量の北向き輸送量が、子午面循環、Standing Wave, Transient Waveおよび日周期の風によるものと分けて与えられる。

たとえば、風の成分のプロフィールは図2・8のようになる。夏至の場合には、赤道を横切る強い子午面循環が、冬半球には強い偏西風極大が現われている。秋分の場合には地球大気の場合の

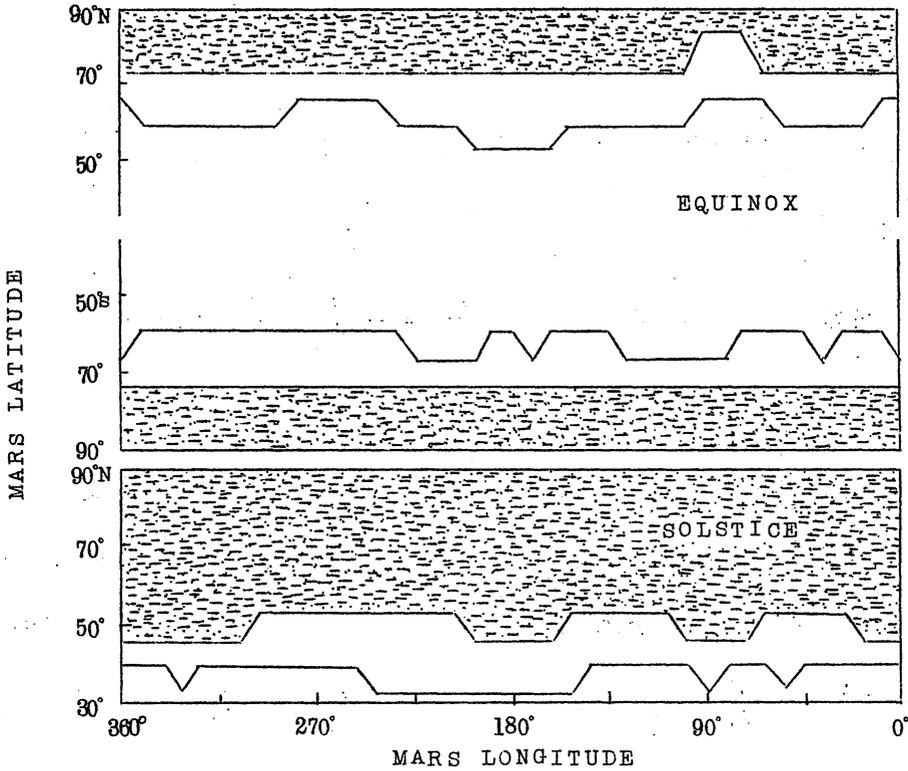


第 2 图



第 3 图

第 4 図



ように、両半球の中緯度に偏西風が、赤道と極付近に偏東風が現われている。また図 4 は 10 日間に極冠が現われた緯度の最大と最小を示している。陰影域は完全な極冠域。

興味を引くのは、地球上で実際に観測されるような振幅と位相を持った気圧の日周期・半日周期が実験結果として検出されることである。この問題は Dry Model 1965 においても論じていた。太陽放射吸収を一日の太陽高度の関数として与えているので、このような日変化を論じることができるのであろうが、大気太陽・太陰潮がまだ理論的に説明されていない折なので面白い。

25 日間の積分結果についてシノプティックな性質を詳細に調べている。温度こう配の強い域には活発なバロクリニック性じょう乱が起つている。

$$* \left\{ \begin{array}{l} \text{静力学方程式} \quad \phi = \phi_2 + \int_{\sigma}^1 b R T d\sigma \\ \text{水平運動量方程式} \quad \frac{\partial}{\partial t} (\pi \underline{v}) = -\text{Div}_h (\pi \underline{v} \underline{v}) - \frac{\partial}{\partial \sigma} (\pi \dot{\sigma} \underline{v}) \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 & - \left(2\Omega + \frac{u}{a \cos \phi} \right) \sin \phi (\underline{k} \times \pi \underline{v}) - \left[\text{Grad}_h(\pi \theta) - (\theta - bRT) \text{Grad}_h(\pi) \right] \\
 & - \pi \underline{F} \quad \quad \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{熱力学エネルギー方程式} \quad \frac{\partial(\pi T)}{\partial t} &= -\text{Div}_h(\pi \underline{v} T) - \frac{\partial}{\partial \sigma} (\pi \dot{\sigma} T) \\
 + C_P^{-1} b R T \frac{D p}{D t} + C_P^{-1} \pi H & \quad \quad \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{連続方程式または気圧傾度方程式} \quad \frac{\partial \pi}{\partial t} &= - \int_0^1 \text{Div}_h(\pi \underline{v}) d\sigma \\
 - (\pi \dot{\sigma})_{\sigma=1} & \quad \quad \quad (4)
 \end{aligned}$$

ただし、 θ ジオポテンシャル、 $(\)_S$ 地表面における量、 $\sigma \equiv (P - P_T) / (P_S - P_T)$ 、 $(\)_T$ 上部境界の量、 $b = [\sigma + (P_T / \pi)]^{-1}$ 、 $\pi = P_S - P_T$ 、 \underline{v} 風の水平ベクトル、 \underline{k} 鉛直単位ベクトル、 \underline{F} 鉛直渦動応力による単位質量当りの水平摩擦力、 H 単位質量当りの加熱率、 $\pi \dot{\sigma} = - \int_0^\sigma \text{Div}_h(\pi \underline{v}) d\sigma - \sigma \frac{\partial \pi}{\partial t}$ 、 $\frac{D p}{D t} = \sigma \left[\frac{\partial \pi}{\partial t} + \underline{v} \cdot \text{Grad}_h(\pi) \right] + \pi \dot{\sigma}$ 。

(久保田 効)

あ　と　が　き

本号のまとめに御協力をいただいた長期予報管理官室の皆様へ、まずお礼を申し上げます。御覧のように本号の内容は予告変更してしまいました。予告の“世界の気候変動”は120頁位になる大物で印刷の都合上次号まわしになりましたが、すでに印刷のための準備を完了しました。ご了承のほどお願いします。

最近、L、Fに対する関心が高まったせいか、会員数が大変増えて、470名に達しました。大変慶賀すべきことと思うと同時に編集子の責任も感じる次第です。

この号をもつて幹事が交替し、管理官室の時田さんをお願いすることになります。新幹事あてに皆様から積極的な意見をよせ、ますます立派なものに育ててゆくよう御協力をお願いします。

(石井、北原)