

国際放射会議報告*

関原 彊¹⁾ 田中 正之²⁾ 村井 潔三³⁾ 大喜多敏一⁴⁾ 笹森 享⁵⁾
 嘉納 宗靖⁶⁾ 関口 理郎⁷⁾ 片山 昭⁸⁾ 小平 信彦⁹⁾

はしがき

このたび1972年5月26日から6月2日にわたり仙台で開催された大気放射国際会議は元来 IAMAP 所属の Radiation Commission が主催する定例の国際会議で大体4年毎に開かれている。この会議の歴史は古く前世紀末に遡り現在でも世界放射センターとして機能しているスイス Davos の観測所はまたこの種の会議の母体でもあると聞いている。

気象放射学はその発生の動機が紫外線・夜間輻射等応用面にあるが他面方法としては測定・理論ともに基礎物理あるいは天文学の分野からの寄与が大きい。これは当初の活躍者 Dorns, Ångström, Schuster 等の名前をあげれば明らかであろう。

1944年～1948年での Chandrasekhar の寄与は今日の気象放射学の理論的發展に非常に大きな影響を与えているがこれについての我が国の山本義一教授の貢献は世界におけるこの方面の流れをリードしているといつてよい。

このような背景のもとにこの会議は当然何れは実現すべきものとして仙台で行なわれたわけであるが私の記憶ではこの話は1964年レニングラードの会議の際、当時の委員長 Möller 教授より山本教授に打診されたのが始まりであったと思う。その後次第に機が熟して1968年のベルケンの会議でも話題にのぼり1970年に正式に Kondratyev 委員長より打診がありわが国としても山本気象学会理事長、吉武気象庁長官相談の上会議招請に踏切つたわけである。

重点となる話題はその時々々の学問発展段階及び社会情勢に応じ変遷があった。たとえば1950年代は前記の放射伝達基礎理論の發展に関連した問題、1960年代には人工衛星よりの観測技術に関連した問題等が眼についた。今回の特徴は環境問題の一環として放射と生物とのかかわり合い、国際協力プロジェクトに関連した問題等があげられる。これらは現代社会の要請に応じて選ばれた重点項目であるが実はこれは気象放射学の発生期に既に存在している問題でもある。この会議の内容を通覧することは同時に気象放射学の歴史を見ていることになるといつてよいであろう。

(関原)

Session 1

Theoretical models for radiative transfer
 (Chairman: F. Möller)

* Report of the International Radiation Symposium

1, 3, 6, 8, 9) 気象研究所

2) 東北大学

4) 国立公衆衛生院

5) 米国大気科学研究センター (NCAR)

7) 気象庁

—1972年10月16日受理—

混濁大気—海洋の放射特性と浮遊粒子の光学的性質に関する研究は、今回のシンポジウムにおいて特に重点をおかれた topics の一つであり、これに関する講演が Session 1～4 で行われた。Session 1 においては混濁大気あるいは混濁した大気—海洋系での太陽放射の伝達に関する理論的研究が取上げられた。Session 2 の最初に発表された Herman (B.M.) 等の研究も同じ問題を扱っているのも Session 1 に含めておく。発表論文は山本・田中の招待講演を含めて5編である。ソ連勢の出

席取消しなどで関連論文約10編の講演が聞けなかったのは残念であるが、シンポジウム全体の運営の面からは、おかげで過密ダイヤをまぬがれることが出来た。さて Session 1 の各論文に共通している問題意識は、大気混濁が地球の熱収支や放射場自身におよぼす影響について理解を深めようということであり、そのためにできるだけ現実的な大気モデルを考え、これに対して放射伝達理論を厳密に適用することである。山本・田中はエアロゾルの粒度分布や垂直分布、地表面反射率などについて現実的なモデルを考え、エアロゾルの量（すなわち大気混濁度）と屈折率をパラメータとして混濁大気の太陽光に対する反射率、透過率、吸収率などを評価したが、その結果によると混濁大気の放射特性はエアロゾルの屈折率特にその虚数部の値如何によって大いに異なって来る。たとえば地球の反射率についていえば、屈折率の虚数部の値が比較的小さい間は反射率はエアロゾル量と共に増加するが、この傾向は虚数部の値が増すにつれて弱まり、虚数部の値が0.5を越すと逆にエアロゾルの増加は反射率の減少をもたらす。従って混濁大気の放射特性およびそのおおよそ効果を明らかにするためには、エアロゾルの平均的な屈折率の虚数部の値を知ることが最優先の課題である。ちなみに屈折率の虚数部はその物質の吸収係数を表わし、虚数部が大きい値を持つということは吸収性が強いということであるが、エアロゾルについてこれを測定する良い方法は得られていない。従来の間接的な方法からは虚数部の値として0.005~0.1が得られているが、この範囲はエアロゾルの吸収性の非常に小さいところから非常に大きいところまでを含んでおり、情報として全く不十分である。これに関する最近の成果については Session 4 の報告を参照されたい。山本等はこのほか混濁大気の光学的特性、特に天空光の偏光を理解するためにもエアロゾルの屈折率についてのしっかりした知識が必要であると述べている。次に Braslaw と Dave, Herman と Browning, もそれぞれ現実的な混濁大気モデルによる太陽光の伝達を評価している。Braslaw 等の研究は近似的な方法によってではあるが、 H_2O , O_3 , O_2 , CO_2 等のガス成分の吸収と共存するエアロゾルの多重散乱の相互作用を考慮した点が重要である。Herman は散乱に伴う放射場の偏光の効果まで考慮してこの問題を扱っている。ただし山本等の研究同様ガス成分の効果は考えていない。偏光効果を考慮することは、ここで問題としているような flux の評価においては必要以上に厳密な取扱いということができよう（これに関しては田中

が intensity や flux の評価においては偏光を考慮した複雑な厳密解とこれを見捨てた近似解との間に重要な差はないことを示している)。Herman 等の示した興味ある結果は、エアロゾルの増加が地球の反射率におよぼす効果は、地表面の反射率によっても大いに異なるということである。すなわち、地表面反射率が小さい時には、エアロゾルの増加は一般に地球の反射率の増加をもたらすが、地表面反射率が大きくなると、エアロゾル量の増加に伴って地球の反射率は減少の傾向を示すようになる。この逆転はエアロゾルの吸収性が大きい程はやく（すなわち、より小さい地表面反射率で）起こる。この性質は山本・田中の計算からも認められる。Budyko はエアロゾルの増加による地球の反射率の増加で一たん地球が寒冷化に向くと、雪線の南下による地表面反射率の増加が、この寒冷化の傾向に追車をかけるという説を出しているが、そのフィードバック機構の重要性はエアロゾルの光学的性質にかなり依存しているように思われる。次に Plass と Kattawar, および, Raschke は共に大気-海洋系での太陽放射の伝達を取扱っている。大気-海洋系とは大気と海洋を全体として単一の光学系と見做したものを指す。従来、大気中での太陽放射の伝達を研究する場合には、海面の反射特性を境界条件として与え、また、海水水中での太陽放射の伝達を研究する場合には、海面に入射する太陽放射の強度分布を境界条件として与えることで、大気と海洋を互に独立な光学系として取扱って来たが、これは近似であって、本来は大気と海洋とは一つのつながった光学系である。しかし Plass 等や Raschke がこの問題を取り上げた本当の理由は、大気中の放射伝達を研究して来た人たちが海の中にまで興味を拡げて来たということであろう。海洋光学は古い歴史を持ち、多くの観測資料が蓄積されているが、理論的研究は比較的立ちおくれているため、理論家にとっては宝の山の感がなきにしもあらずである。さて Plass と Kattawar はモンテ・カルロ法を用いて、エアロゾルおよびハイドロゾルを含む大気-海洋系の現実的なモデルの放射特性を、偏光効果まで考慮して、評価している。ただし海面は静止水面としている。モンテ・カルロ法は任意の幾何学的形状の大気を取扱い得るという利点がある反面、膨大な計算時間を要するため、散乱光の角度分布等について詳しい情報を得るのは困難である。Raschke の方は、Chandrasekhar によって開発されたオーソドックスな方法で、この問題を取扱っている。偏光効果までは考えていないが、海面が rough surface であることの影

響は考慮している。両者の結果は大気光学・海洋光学における従来の観測結果を定性的にはよく説明している。定量的な議論をするためには、ここでもエアロゾルおよびマイクロゾルの光学的性質に関する知識をもっとしっかりしたものにする必要があるだろう。(田中)

Session 2

Radiation fluxes and divergences

(Chairman: G. N. Plars)

この Session では、観測あるいはそれに関連した問題がとりあげられた。すでに Session 1 で言及した Herman らの講演を除いて、5編の論文が講演された。まず嘉納・鈴木・矢田は、 10μ の窓領域の大気放射を地上で分光観測して得られた結果と、その解釈について論じている。これによると、窓領域の各波長で下向きの放射を測定すると、放射量が大气混濁度の増加と共に増加する場合と、放射量と大气混濁度の間に明瞭な関係がない場合とが見出される。嘉納らはこの点を解明するために、エアロゾルの光学的性質は水滴のそれで近似できるとし、粒度分布を変えた大気モデルを考えて、放射伝達理論によって下向き放射量の理論的評価を行った。その結果、下向き放射が大气混濁度とよい相関にある場合は、エアロゾルの粒度分布が Junge 分布より相対的に大粒の粒子が多い場合であり、また、下向き放射と大气混濁度の間に相関のない場合は、Junge 分布に近い粒度分布の場合として、よく説明できるという結果が得られている。エアロゾルが長波放射の伝達におよぼす効果を明らかにすることは、今後の重要な課題であるが、この研究はその意味で大変重要であると思う。次に Ellingson と Gille は、長波放射のフラックスを計算するための新しいスキームについて論じている。“新しい”というのは、彼らがガス成分の吸収帯として、従来あまり考慮されなかった CH_4 の 7.66μ 帯や N_2O の 7.78μ 帯も考慮していること、 H_2O の窓領域での連続吸収も最近の資料に基づいて取り入れていること、各吸収帯の透過関数を自分なりに評過してかかっていること、などを指すのであって、原理的に新しいということではない。このスキームによる計算値を、NIMBUS-III による外向き放射強度のスペクトルや放射ゾンデによる冷却率の観測と比較しているが、それによると NIMBUS-III との比較の結果は大変よい。放射ゾンデとの比較では晴天もしくはそれに近い条件のもとでは、対流圏で計算と実測の一致はかなりよいが、曇天下では、あまりよい一致は得られていない。これに関して著者らは、計算に雲の放射特性や高度に関する知識を詳しく組み入れる必要があると指摘している。

放射ゾンデとの比較は成層圏では一般によくない。すなわち、下向き放射の観測値が計算値よりずっと大きくなっている。著者らはこの不一致の原因をエアロゾルの効果であると考えて、いろいろ検討しているが、結論としては、放射ゾンデのデータにはエアロゾルの効果を云々するだけの精度がないということである。放射ゾンデの精度をたかめることと、雲やエアロゾルの放射特性もとり入れた実用的な計算スキームをつくるのが今後の問題である。尚このほか Traugott が浮力を受けて上昇する熱気泡に対する放射冷却の効果について報告している。また、Mani, Chako, Desikan らはインドの高山で観測した直達日射の観測結果について報告している。これはヒマラヤ地方は海拔高度が高いにもかかわらず、南部平原地帯と同程度の大气混濁度が観測されるという Bishop らの報告を検証する目的で行なわれた観測であるが、結果はこれを追試したかたちになっている。最後に Dogniaux は晴天時の天空の輝度(明るさ)と大气混濁度の関係について論じている。天空の各部分の輝度は、天頂の輝度との比で表わされる(相対輝度)ことになっているが、天頂の輝度は太陽高度や大气混濁度によって異なるので、それらの間に関係をつけておく必要があるというのが、その目的である。Dogniaux はこれについて、天頂輝度を Linke の混濁因子と太陽高度の関数として与える非常に簡単な関係式を半経験的な方法で導いている。それはそれで重要であろうが、このような空の明るさとか色とかのように人間の視覚の入った問題も、厳密な放射伝達理論の対象とすることが可能であり、結構面白い問題ではなからうかという感想をいただいた。(田中)

Session 3

Radiative transfer in clouds and cloudy atmospheres (Chairman: R. Dogniaux)

この Session では、雲の放射特性に関連して5編の論文が発表された。そのうち2編は理論的研究で、3編が観測に関係したものである。理論的研究では、Heinrich が、雲層による太陽光の散乱反射の問題で、雲粒と共存している水蒸気等のガス成分の選択吸収の効果を導入する方法に関して報告している。ガス成分による吸収は線吸収であるため、理想的に狭い波長範囲をとらない限り、吸収の指数法則は成立しない。一方、吸収帯は強弱さまざまな数百本の吸収線を含み、吸収係数は各吸収線の占める波長範囲でも著しく大幅に変化している。これ

らのことから、吸収帯域での多重散乱過程の評価は普通の方法では殆ど不可能に等しい。吸収帯全体での多重散乱過程の平均的特性を得る現実的な方法が必要とされるゆえんである。Heinrich の考えは次の通りである。雲層上端に、ある方向から放射が入射しているとき、ある任意の方向に反射される放射の強度は、多重散乱の結果、異なる幾何学的長さの光路を通して来たものの集りである。この各光路長を通して来た放射の、最終的な反射光に対する寄与を分布関数と呼んでいるが、ガス成分の吸収がない場合についてこれを予め評価しておけば、ガス成分の吸収の効果は、分布関数に、対応する光路の平均透過関数をかけたものの積分で与えられる、というものである。詳細に検討すると、この Heinrich の方法は数学的厳密さに欠けており、一つの近似に過ぎないことがわかる。しかしアイデアとしては大変興味があり、厳密なものに手直しするとことも可能である。ある意味でかなり類似した問題を Devaux, Fouquart, Herman(M), Lenoble とも取り上げている。Devaux らは、まず、散乱大気放射伝達方程式の解法としてこれまでに提案されている代表的なものについて、計算精度と計算スピードの比較を行っている。半無限大気については、プリンスブル・オブ・インヴァリアンス法、ダブリング法および球面調展開法について、また、有限大気については、ダブリング法、球面調展開法および散乱次数展開法について、比較を行っているが、いずれの場合にも球面調展開法が他に比較して1桁程度少い計算時間で済むという結果を得ている。ただし、このような比較の結果は大気モデルによって異なるはずであり、上の結果はエアロゾルがサイズ・パラメータ $\alpha=5$ の単一粒径で、かつ吸収性が非常に小さい場合に関するものである。この種の比較検討は従来あまり行なわれておらず、この辺できちんと整理しておくことは非常に有益であろう。Devaux らは、次に、散乱大気中に吸収ガスが混在している場合にその吸収線による吸収が、散乱反射光におよぼす影響について考察している。一本の吸収線を対象にしている点と、吸収線のない波長域に比べて吸収線のある波長域の反射光強度が相対的にどれだけ損われているかを問題にした点が、Heinrich の観点と異なるところである。これは放射伝達論では、線形成 (line formation) の問題と呼ばれているものであるが、Devaux らの研究はこの問題の解法を示したもので、将来金星や火星の大気分光測光学的な方法による探査と関連して広く利用されることになるだろう。次に雲の放射特性の観測的研

究では、Platt による絹雲 (Ci) の赤外放射に対する射出率に関する研究、Paltridge による Sc, Ac の短波および長波放射に対する放射特性に関する研究、および、Mani と Srinivasan による長波放射のフラックスにおよぼす雲の影響に関する研究が報告された。Platt の研究は、地上の赤外放射計とライダーを用いたものであり、Paltridge の研究は航空機に各種放射計を搭載して行なったものである。また Mani らの研究は放射ゾンデを用いたものである。結果については、中間報告的であるか、または問題意識が漠然としていて、決定的なものではなかったように思う。ただ今後の方向としては、観測的研究の重要性が益々大きくなることが予想される。

(田中)

Session 4

Optical properties of aerosols

(Chairman: D. Spänkuch)

この Session で扱われた問題は、エアロゾル粒子の光学的特性に関するもので、散乱係数、散乱関数等の放射伝達に介入する基礎的な諸量の、粒子の性質、すなわち、粒径分布、屈折率および形状とその向きによる変化についての実験的あるいは理論的研究である。粒子の性質として先づ採り上げられるのは粒径分布であってエアロゾルを取扱う各分野で極めて多くの研究がなされているが、粒子の光学的特性を定めるにはこれだけでは不充分であって、粒子の屈折率、すなわち、粒子を構成する物質によって特性は著しく変動する。近年この問題は重視され始め、特に複素屈折率としての取扱が必要とされている。この事はエアロゾル粒子の吸収の効果が大事であることを意味している。この Session において発表された研究は凡てこれ等の点に触れたものである。Zuev (ソ連)の研究は、霧粒子について散乱関数の測定を行ない、粒径分布を別の測定によって知り、これに対応する計算値との比較を行ない測定値の精度を確かめ粒径分布による散乱関数の変化を求めている。また、前方散乱と後方散乱の比を求め、その波長による変化が粒子の屈折率の虚数部の波長による変化とよく似ていることを示している。しかし、 $10 \mu\text{m}$ 付近の波長ではこの傾向から外れ、効果を及ぼすのが虚数部のみではないという結果を得ている。全く異なる方法による研究として Volz (米) は採集した雨を蒸発させた残留物質について屈折率の測定を行なっている。測定によって得られた虚数部の波長分布は、採集場所による相違を示しているが、 2.8 および $6.1 \mu\text{m}$ 付近には共通して吸収が現われている。この他

7.9 および 17 μm にも吸収が現われているが、これは強い場合と、ほとんど認められない場合とがある。

エアロゾル粒子が周囲の空気中の水蒸気量の影響を受けることは直感的に予想されるところであるが、Hänel (西独) はこの目的のための測定装置を作製し、粒径分布および屈折率の湿度による変動を求めた。その結果によれば、湿度の増加に伴って粒子の半径は増加し、可視域における屈折率は減少することが認められている。この場合に、湿度の増加方向と減少方向の変化に対して同一でない、いわゆる履歴現象が重要であることが示されている。このような傾向を基にして散乱係数と湿度との関係が求められている。

エアロゾル粒子の光学的特性を決める要素として粒子の形状とその向きも重要であって、これまでの球形としての取扱いから脱して任意の形についての研究も進められている。山本、浅野は回転楕円体についての散乱電磁波の解を求め、入射波の方向が回転軸に平行な場合を始め他の種々の方向からの入射波の場合についての結果を求めている。これ等と球形の場合との比較により散乱関数の形に現われる形状の効果が明確にされている。一方、これに関する実験的研究としてHolland et al. (米) は、任意の形の SiO₂ 粒子による散乱光強度の角度分布の測定を行なっている。これに対し、粒子を投影断面積の等しい球形におきかえた場合の粒径分布を仮定して位相関数を計算し、測定から得られた位相関数との比較を行なっている。その結果、両者の形は前方散乱領域ではほぼ一致するが、後方散乱領域では著しい相異が認められる。また、偏光の様子も球形の場合とは異なっていることが示されている。これまでの研究で粒子の形は著しい効果を示さないという結果も得られているが、今後の取扱いとしては形状は重要な要素として取上げられるであろう。

粒子による光の散乱の理論的取扱いは非常に複雑であって、Mie によって1つの解法が得られたわけであるが、数値計算の場合には著しく手間と時間を必要とする。これを短縮する方法が Eiden (西独) によって示されている。粒子による散乱波をフーリエ級数を用いて表現し、Mie の形よりも数値計算に要する時間が縮小されることが示された。この方法を用いて散乱光の測定から粒子の複素屈折率を求めることがこの研究の最終目的である。

以上がこの Session の内容のごく大まかな紹介であるが、これは今後の方向を明示しているものである。冒頭

にも述べたように粒子の光学的特性は粒子の粒径分布、屈折率、形状とその向きによって決められるものであって、その1つが欠けても完全な値は得られないのである。とくに最近では、粒子による光の吸収の問題は重要視されつつあり、粒子の屈折率を正しく求めることが課題となって来る。(村井)

Session 5

Radiative problems related to the biosphere

(Chairman: A. Mani)

放射の生体に及ぼす影響について発表された論文は Gates 教授の招待講演を含めて3件であったが、Gates の講演には特に興味をそそるものがあった。後の2論文は主として生物に対する光環境を中心にしたものである。

Gates 教授の講演は“放射、植物および光合成”と題するものであって、放射を含めた自然環境の動植物に与える影響についてのレビューである。

先づ異なった波長の光の生体に及ぼす影響について述べられているが、300 nm 以下の光は核酸によって吸収され、殺菌力がある。300~500 nm の範囲の光によってカルチノイド合成、胚軸伸長、ビタミンD生成が行なわれる。光化学反応は 300~500 nm および 600~800 nm の範囲でよくおこるが、600~700 nm の光ではプロトクロロフィルよりクロロフィルへの変換や発芽の促進等光合成に関連して生産的に作用するが、400 nm 以下の光は破壊的に働らく。500~600 nm の範囲は光化学反応よりみれば一つの空白領域であるが、この領域は人間の眼には最も強く感じる領域である。

植物による光の吸収は勿論 0.7 μm の赤色が強いが、0.7~1.4 μm で吸収が弱くなる。しかし 1.8~2.0 μm で強い吸収がみられる。しかし動物では全般的に吸収し、植物ほどの弱い吸収帯はみられない。

植物の葉における放射を含めた熱収支は次式で与えられる。

$$Q = \sigma T_l^4 + K_l \left(\frac{V}{D} \right)^{1/2} (T_l - T_a) + L \frac{sd_l(T_l) - r.h. sd_a(T_a)}{r_1 + K_2 \frac{W^{0.2} D^{0.35}}{V^{0.55}}} \quad (1)$$

式中 Q: 日射量, T_l, T_a: 各々葉および空気の温度, V: 気流速, D: 気流方向の葉の大きさ, W: 気流に直角な方向の葉の大きさ, L: 気化の潜熱, r₁: 葉の水蒸気に対する抵抗, r.h.: 相対湿度, sd_l(T_l): 葉中の水蒸気密度, sd_a: 空気中の水蒸気密度である。

Gates は次いで蒸散量—風速—日射量, 蒸散量—葉

温、同化量-光量、同化量-気温、蒸散量-光合成量-
気温、蒸散量-光合成量の関係を図示した。

動物に対する熱収支は

$$M+Q=\epsilon\sigma T_r^4+KV^{1/3}D^{-2/3}(T_r-T_a)+E \quad (2)$$

の式であらわされる。M:代謝による発熱量、Q:日射量、 T_r :動物体温、E:水蒸気の蒸発による熱発散量、
で他の量は(1)式の場合と同じである。

Gates は更に種々の環境条件(日射、夜間放射、気温高度、夏、冬、砂漠等)下における動物(ここでは羊、イブアツ、カーディナル等を例示してあるが)の生存条件、代謝条件を図示した。

London と Frederick の“地上における直達および散乱紫外線量の地球上における分布”ではオゾンによる紫外線の吸収の結果地上に到達する紫外線(3025±25 Å および3075±25 Å)の地表における分布(赤道地方では年平均で極地方の22倍) $\lambda=3025\pm 25\text{ \AA}$ の直達光と拡散光の比の緯度分布(1月では赤道で1、我国では0.1、南緯21°19'では1.2)、地上より15 km 迄の $\lambda=3025\pm 25\text{ \AA}$ の光の垂直分布(これは勿論上空程強い)および直達光/散乱光の垂直分布(これも上空程大きい)が図示された。

Franceschini の“南極海域における一次的生産率に影響する日射のスペクトル分布の測定”では、光を200~500 nm, 500~650 nm, 650~700 nm, 700~2,800 nmの4波長領域にわけ、各領域の光のプランクトンの光合成に与える寄与率、南インド洋、南太平洋の海中における各波長の光の垂直分布、海面における上向きおよび下向きの光の流れ、海面(水面を含む)の反射率の測定結果が述べられた。(大喜多)

Session 6

Atmospheric turbidity

(Chairman: T. Sasamori)

日射観測にもとづいて大気混濁度の研究6編が発表された。学会全体の論文数に比べて数は少なかったが論文相互の関連が面白くひとつのSessionを通して聴くと大気混濁の研究上の問題、現状、将来への方向などについて教えられるところが多かった。

最初の論文「Normal Incidence Solar Radiation Trends on Mauna Loa」(Ellis et al.)は、熱帯域の代表点とみなせるハワイのMauna Loa山(3,398 m)において1958年のIGY以来現在まで観測された日射にもとづき算定された大気混濁度の経年変化を議論した。1958年からの5年間は透過度は規則的な季節変化の

他は殆ど変化がなかったが1963年のバリ島アガング火山の噴火以来、透過度は約1.5%急減少し、その後ひきつづいて生じたフィリピン、セレベス島の火山爆発による変動を受けながら1971年にはほぼ1962年の水準に戻ったというのが主な観測事実である。日射の観測から大気中の塵埃を求めることは最近とくに人為的原因を自然の原因から分離することが要求され、いろいろ困難な問題を含んでいる。たとえばÅngströmの定義による大気混濁度は大気中の水蒸気と強く関連することが知られているが、Ellisたちの研究は高山観測の利点をいかし人工的塵埃の放出源から遠いハワイの観測値により自然のままの大気混濁度の長い期間の経年変化を明らかにしたすぐれた研究成果だと思われる。Dogniaux と Sneyers (On the Stability of the Atmospheric Turbidity at Uccle (Belgium) for the Period 1951~1970)は20年間のUccleにおける日射観測からLinkeの混濁係数を求め、平均の係数は約4でその季節変化は

$$T=3.81+0.022h-0.26\cos(\pi h/6)$$

(h は太陽高度)で表わせることを示した。20年間の混濁係数の増加はごく僅かで0.013%/年、すなわち20年間でも約0.3%増えただけである。以上の2編の研究は共通して大気混濁度の過去の増加は少ないと結論しているが、次に読まれたManiたち(インド)の研究はそれと非常に異なっている。Ångströmの直達日射計とVolzの太陽光度計を併用したインド13カ所の観測によると過去10年の全観測点の平均として混濁度は約2倍(年率10%)増加している。地域的にみるとインド北部および中部が最大の混濁度を示し他の地域の3~4倍に達する。この地域差はManiによると地域的季候の差により、主に夏季の地表乾燥が原因とみられる。更にManiたちは集積した日射資料を雲量雲形、混濁度などに関連した経験式にまとめ、それを使って全インドの日射気候図を作製した。

次の論文でBerlyand(ソ連)はアジア地域の放射収支の特徴を地理学的観点から議論したが、この研究は、Maniたちの研究とともにBudykoが1958年のIGY日射観測にもとづいて行なった仕事と同じ方法でそれを更に発展させているものといえよう。

最後のVolzによる論文「Return of Normal Stratospheric Turbidity and New Short Dust Event During October 1971」は薄明光(Twilight)の観測から成層圏の塵埃量の経年変化を示した。前に紹介したEllisたちの発見と同じく、Volzの観測も1963年のアガング山の噴

火によるとみられる顕著な塵埃増加を観測し、その増加は熱帯全域におよび特に南半球での増加が著しかったことが報告された。

余談であるが、Volz氏は私と同じ宿に滞在したがその間、早朝と夕方、簡単な濁度計と偏光光度計で混濁度の観測をホテルの屋上で行っていた。今頃は仙台の大気の混濁度についてその結果をまとめておられるかもしれない。最後に、このSessionの中心論文だった、マウナ・ロア山の観測所についてはBulletin of the American Meteorological Societyの5月号にMachta氏が、観測所の歴史と成果を故H. Wexler氏(元米国気象庁長官)との関係から詳しく紹介していることをつけ加えてこの報告を終りたい。(笹森)

Session 7

Radiation instruments

(Chairman: R.M. Marchgraber)

短波長放射(日射)および長波長放射(大気放射)の測定は、同じく放射測定と称してもその方法、問題点にはかなりの相違がある。気象要素の1つとしての放射測定は日射測定の方がより古く、観測網もより充実している。一方、ゾンデ観測の方は長波長のnet fluxの測定の方が開発が進んでおり、国際比較観測を行なうまでに至っている。そして最近の気象衛星への応用は赤外放射測定の技術を急速に向上させている。日射測定の方は古来種々の方法でそれぞれの目的に応じて工夫されており、気象学以外の分野でも多くの人が測定法に苦心している。現在両者に共通する基礎的な問題は絶対値の検定法であって早急に解決すべき課題とされている。

現在国際的に最も広く用いられ、絶対値の測定も可能として認められている日射測定法はÅngströmの日射計およびAbbotの銀盤日射計による全波長域直達日射量の測定である。前者は1905年InnsbruckにおけるInternational Meteorological Conferenceにおいて絶対測定装置として認められたもので、初めて準器が定められたのである。Ångströmの手元で作られた器械の中のNo. 70というものが絶対値測定に用いられ、No. 158他いくつかのreferenceの器械によって基準のscaleはStockholmに保存されている。これが1905年Ångström scale(ÅS 1905)である。これに対し、Abbot等は流水型日射計によって絶対測定を行い、Smithsonian Institutionにおいて新しいscaleを求めた。これが1913年Smithsonian scale(SS 1913)である。ところがその後、これ等のscaleはそれぞれ+2.4、-2.5%の誤差を含んでい

ることが指摘され(Lindholm, 1958, Abbot and Aldrich; 1932)、日射測定の基準 scale は決定版を失ってしまった。1956年に至り、DavosにおけるInternational Radiation Commissionの勧告によって新しいscaleが定められた。1956年International Pyrheliometric Scale(IPS 1956)と呼ばれている。それによるとÅS 1905によって行われた測定値は+1.5%、SS 1913に従ったものは-2.0%の補正をすることが必要である。現在国際的に用いられているのはこのscaleである。

このようにして一応世界共通のscaleは定められたのであるが、これは正しい値が得られたということではない。正しい絶対値を得るための努力は現在も引き続き行なわれており、これまでに多くの研究がなされている。Latimer(カナダ)の講演は上記の内容のreviewを行なった結果、現在のscaleが明らかに不十分であり、新しいscaleを定める必要があることを述べたものである。また、受光器としてcavityを用いることによって精度が向上されることも述べている。

日射測定の中で紫外部のみ測定値は、医学を始めとして農業、建築等種々の分野から要求されている。Grasnick(東独)の紹介した装置は医学的応用として作られたもので、3000 Åを中心とした半幅値約200 Åの干渉フィルターを用い、拡散球によって全天からの入射光を受け、アンチモンセシウムの光電管で検出するものである。出力は時間的に積分されたものが印字されるようにしてある。この型の紫外線計はわが国でも作られていて実用になっているが、検定の問題は検出器の感度の波長分布が複雑であることなどを含めて極めて厄介な問題になってくる。また、全天日射の測定につきまとうのはLambertのcosine法則からのずれの問題である。すなわち、入射の方向によって感度が異なってくる不都合である。この装置では、実験結果としてcosine法則からのずれは入射角70°付近が最大で、約10%であって、実用的にはほぼ満足すべき値と思われる。ただし、この値の経年変化が問題である。

赤外放射を用いて対称物の検出あるいは温度を測定する方法は気象衛星への応用を始めとして近年利用度の極めて高いものである。発表された2つの研究は何れもその技術に関するものである。赤外放射測定の困難さの1つは、対称物と周囲との温度差が比較的小さく、したがって周囲からの放射、すなわち、background noiseのlevelが高い点にある。板倉、堤、高木の研究はこのnoise levelを統計的方法によって定め、このlevelに

対して対称物を明確に検出し得るような装置の条件を求める試みである。第1には波長域の選択であり第2は spatial filter の選定、第3は視野角の決定である。最適な spectral band は予想されることであるが対称物の温度によって異なる。対称物の温度が低くなる程最適な波長域は長い方へ移動する。spatial filter としては格子模様のものが最も SN 比を大きくする。視野角は広い程入射量をかせぐことにはなるが SN 比を下げることになり、条件によって変り1例として 100°C の 50 cm dia. の円形対称物を 2 km 離れて測定する場合 20×20 m rad² が最適であることが実験によって示されている。

同じ赤外放射測定技術の研究として、梶、板倉、高木の研究は、赤外域の2つの大気窓領域を選び、noise を含んだおのおのの出力の積の平均値を求めると、単一の波長域についての場合よりもかなり大きい SN 比が得られる。この SN 比は、noise の空間分布の2つの波長域の間の相関関係が小さい程大きくなる。実験結果によれば、最も効率よく選ばれた場合には単一波長域の場合の約5倍に達している。

測定装置に関する研究発表は以上の4つであったが、それぞれ重要な問題を含んでおり、とくに、放射量の絶対値を精密に測定することは、気象力学との関連等を始めとする他の分野と関連した問題の中で強く要望されており、早急に解決しなければならない課題である。

(村井)

Session 8

Radiative problems in the upper atmosphere and planetary atmosphere

(Chairman: D. G. Murcray)

Session 8 でおこなわれた講演は次の四つで、その概要を紹介する。

(1) First Results from the Mariner 9 Infrared Spectrometer — B. J. Conrath, R. A. Hänel, W. A. Hovis, V. G. Kunde, P. D. Pearl, C. Prabhakara and B. Schlachman —

これは Mariner 9 号に搭載してある赤外干渉分光計 (IRIS) で、火星大気の射出スペクトル (200~2000 cm⁻¹) を測定し、それより火星大気の熱構造について報告したものである。火星大気が dusty になると、dust は日射を吸収して、大気の熱構造に大きく影響する。すなわち、dust は上層大気を温め、下層大気の温度勾配、地表面の温度不連続を小さくする。dusty のときには温度の極大値は日没前におこり、緯度 60° のところにある。

dust が沈静すると、温度の極大値は午後の早い時刻に起り、sub-solar point のところに移ることが述べられた。

(2) Inverse Multiple Scattering Theory: Minimization Search Method of Solution with Application to Venus' Atmosphere — A. L. Fymat —

惑星等、星の大気から射出または散乱される放射を測定して、それから逆にこの大気の性質を論じるいわゆる Inverse Problem に対して著者は、合理的でより効率的な方法として MSM (Minimization Search Method) というのを提案した。これは測定値と計算値(あるモデルを仮定)の差の自乗が最少であるのを解とする方法で、この一般論を論じたのち、Danjon と Mueller による金星の位相曲線(金星の位相角-金星と太陽および地球をそれぞれ結ぶ線のなす角-)の変化に対する金星の明るさの変化を示す曲線)の位相角 15~165° の範囲の観測値の平均と金星大気が $P(\theta) = \omega_0 (1 + x \cos \theta)$ なる形の位相関数をもつとし且均質の半無限平面大気よりなるとして明るさを計算した値とについて MSM の方法を適用して、最適の ω_0 と x を求め、それを基にして位相曲線を出し、実測値および Horak 等他の著者達の値と比較して、著者が $\theta = 20 \sim 120^\circ$ の範囲では観測とよく合うことを示した。 $\theta > 120^\circ$ 以上では、すべての著者の曲線も実測値よりずれている。また計算した金星の Planetary Albedo (A) は 0.632 で観測値と完全に一致する。A は大きな位相角に影響されないこと、用いたモデルにあまり敏感でないこと述べられた。

(3) The Distribution of Ozone in the Lower Atmosphere — H. Kida —

大気オゾンは太陽紫外線によって生成されることはよく知られているが、もし他に作用がなければ、オゾン量は低緯度地方程大きく、高緯度程少なくなり、また夏に極大になると期待されるが、観測事実はこれと反対である。総オゾン量は高緯度が大きく、また春に最大値を示す。そこで、この事実を説明しようとして、最近の Hunt and Manabe の研究等多くの研究がある。

著者は large-scale eddies の効果を取り入れて、この問題を取扱い、その結果、horizontal eddies flux は 15° N~75° N の殆どすべての領域で北方向となっており、オゾンの極方向への輸送に重要な役割を演じていることを示し、vertical eddies flux は中緯度ではオゾンを下方へ、高緯度では上方へ輸送していることを示した。垂直分布については 55° N のところで Hunt の結果より

も観測値により近い値を報告した。

(4) Radiative Transfer by the 15μ CO_2 Band in the Atmosphere—A. P. Williams and C. P. Rogers

Mesosphere の大気大循環を論ずる上で、その放射収支の研究は重要である。この領域では、局所的熱力学的平衡が成立しなくなるので、Source function が複雑となり、とくに弛緩時間の決定が難しく、研究上困難がある。

この領域の放射収支の研究は既に Kuhn and London 等によってなされているが、著者達は 40~100 km の熱収支における 15μ 帯の個々の吸収帯の役割を研究した。すなわち、 C^{12}O_2 ¹⁶ の他に、 C^{13}O_2 ¹⁶ 等の同位元素および hot band を考慮に入れて計算をおこなった。比較のため、Kuhn and London の用いたのと同じ温度分布を用いておこなった計算で、彼等の結果に比して、Stratopause 付近の極大冷却率が約 $2^\circ\text{C}/\text{day}$ だけ大きく、また高緯度の夏の mesopause 付近で、極大加熱率が約 $3^\circ\text{C}/\text{day}$ だけ小さくなっていることを示した。

(嘉納)

Session 9

Radiative research related to cooperative programme
(Chairman: J. N. Howard)

この Session は BOMEX における放射部門の観測結果とその解析、GATE の放射観測計画、日射計の国際比較観測の3つに分けられる。

BOMEX については、Gille が総括的な報告を行ない、Cox, Von der Hear 他、Kuhn が各論を展開した。Gille は観測結果と解析の一部に触れ、この計画についての反省と、これを GATE に反映させる必要性などを論述した。放射に関連して、BOMEX ほど大掛りの総合的な観測はかつて行なわれたことはない。すなわち、衛星、ゾンデ、船、島、飛行機などを利用して、core experiment の一環として、 $500 \times 500 \times 7$ km の空間におけるエネルギー収支と air-sea interface を通しての交換過程の追究を目指して行なわれた。その観測資料は莫大であり、なお整理中とのことであるが、多くの重要な結果が得られるものと期待される。短波長と長波長の上向き下向き放射束の測定(船舶・陸上・飛行機・気球)が実施され、一つの結論としては熱帯の短波長放射加熱は雲の影響が大きいということであり、今後の測定は雲の形態の関数として計画する必要があるということを示唆しており、その結果、測定結果は衛星による雲量の測定

値を考慮して求められた。

気球による放射ゾンデ観測は 220 回行なわれたとのことであるが、個々のデータの信頼性はまだ問題があるような印象を受けた。しかし、この測定結果も衛星による雲の分布測定に対応して分類され、赤外放射による平均冷却率の計算に際して利用された。また、放射束の測定結果を非断熱効果として垂直流の計算に取り入れ、その結果を発散法による結果と比較してみたが、その差は 20%以内であった。また sub-grid 規模の熱輸送の垂直分布、顕熱の海面からのフラックスを求めるためにも放射束の測定結果を利用している。しかし、放射以外の非断熱効果の取り扱いがこれらの計算の精度に重要な影響を与えることは言うまでもない。

BOMEX の観測領域はサハラ砂漠からの dust haze の影響が少なくなく、エアロゾルの放射過程に及ぼす影響についての有益な結果を得た。たとえば、エアロゾルの影響を無視した赤外放射の計算(Ellingson & Gille)と NIMBUS-IV の IRIS 測定とはよく一致するが、窓領域ではエアロゾルの影響が大きいため、両者の差は大きなものとなっている。Gille は結論として、1) 研究成果の発表は観測の 4 年後になること、2) 多くの新測器が利用されたこと、3) 核となる組織が不十分であったため、計画的な協力が困難であった、4) 各プログラムで使用された測器間の比較が行なわれていなかったため、系統的な差は避けられなかった、5) デジタル記録とデータ処理の機械化が莫大な資料整理には必要であること、6) データ処理、解析、資料保存について十分な費用が必要なことなどを強調していたが、いずれも AMTEX の計画遂行に当たって考慮すべきことのように思われる。

BOMEX 関係の他の 3 論文は上述の Gille の紹介に要約されている。

Marchgraber & Frönlich は 1970 年 9 月にダボスとロカルノにおいて行なわれた第 3 回直達日射計比較観測(IPC-III)の結果について紹介した。この比較観測の最も重要な目的は 1956 年に定められた国際直達日射計目盛り(IPS)の再検討であった。その後に行なわれた 3 回の比較観測において、準器とされた日射計が前回から今回までの間に変化を起こしているため、IPC-IIIの結果の評価は困難となったため、第 2 回(1969)と第 3 回(1970)の比較観測に参加した日射計のうち、 $\pm 0.5\%$ 以内の安定性と 0.3% 以内の標準偏差、混濁度による差が 0.5% 以内にある 7 個の日射計の平均値によって IPC-III の目

盛りが決定された。しかし、検定された日射計の測定値には多くの避けがたい誤差を含んでいる。たとえば、エアロゾルによる散乱光の影響(太陽周辺光)は各日射計によって差があるが、これは日射計の構造の幾何学的な相違に起因する。このための誤差は大気の混濁度が増加すれば増加するが、IPC-Ⅲの結果の解析(Dogniaux)やFröhlichの理論的な計算によっても裏づけられている。IPSの精度や絶対確度の改善は測器の構造(幾何学的)の基準化と絶対測定感部の使用を図らねばならないことが強調された。

Thekackaraは1971年5月にNASAのGODDARDにおいて行なわれた全天日射計の国際比較観測の結果について報告した。各国の準器の比較であったが、中には10%以上もの差があり、アメリカWB、エプリー研究所、カナダ気象台の準器を基準にした補正值が決定されたとのことである。

Harlan & Marlattは赤外放射伝達過程におけるエアロゾルの効果を調べる目的で行なった研究結果を報告した。すなわち、航空機に搭載したMRIR放射計の10~11 μm 波長域の放射測定量から求めた海面温度と、エアロゾルによる吸収を考慮に入れて計算した航空機の飛行高度における見掛けの海面温度はよく一致することが示された。さらに、8~14 μm の窓領域では、地面から約3km上空までの放射減衰の70%はエアロゾルによるものと推定している。

Quenzelは南西アフリカにおいて1971年7月から8月(乾燥季)にかけてMainz and Munich大学の7グループが行なった観測の概要を紹介した。海岸から500km内陸の準乾燥地であるTsumeb近くに展開して、0.4~2.5 μm にわたる太陽放射の大気吸収に影響されない波長域について、直達日射、天空光強度の角度分布、天空光の偏光の角度分布、地面放射強度の角度分布、120mの高さにおける上向きと下向きの放射束、さらに30mの高さのair sampleについてのエアロゾルの粒径分布測定などを実施した。これらの観測の目的は放射伝達の詳細な機構を調べることであり、エネルギー変換過程としての放射が気象学において重要となってきたことを反映している。大気大循環モデルにこのような過程を組み入れるためには、ルーチン気象観測から得られる情報によって放射エネルギー変換を求められるような単純化モデルが必要である。観測結果の整理に必要なチャンドラセカールの放射伝達方程式の解は散乱関数のルジャンドル多項式への展開による数値解法を準備して

いるが、最終的な結果はまだ得られていないとのことであった。(関口)

Session 10

Radiation problems related to cooperative programmes (chairman: J. London). General discussion on the international rocliation programmes related to GARP

(Chairman: J. P. Kuettner)

WMOのISMG(International Scientific and Management Group)を代表してKuettnerがGATE(GARP Atrantic Tropical Experimentの略、天気18, p.p. 642「用語解説」参照)の概要とその放射副計画の紹介を行なった。GATEには米ソを含む16カ国からの参加が予定されているが、日本の気象学者の協力が得られないことは、これまでの業績からみて非常に残念であると前置きして、GATEの最も重要な目的は、2,000~10,000kmの大規模スケール(A)と100~1000kmのcloud cluster(Bスケール)の相互作用、Bスケールと対流スケールの相互作用の研究であること、放射の観測計画は(1)Aスケールを対象とした全体的な放射特性、(2)Bスケールを対象とした非断熱加熱率、(3)大循環モデルにおける放射過程のパラメタリゼーション、(4)海洋の放射熱収支に重点が置かれていることが強調された。これに対し、関心のある研究者から観測および研究計画がそれぞれ具体的に提案され、これらの提案をめぐって活発な討論が行なわれた。(関口)

Session 11

Radiation factor of climate

(Chairman: L. Hinzpeter)

この部門では、主として、気候や大循環と放射との関連性に重点を置いた研究が発表された。招待論文としてBudykoの「放射因子と気候変動」が予定されていたが、不参のため取り消しになったのは残念であった。

英国のWalshawとRendelは、英国気象局で開発中の大循環モデルやその他の力学モデルに簡単に導入できる放射計算方式を検討した結果、赤外放射フラックスを各レベルの水蒸気量の対数と気温との線形結合で計算しようとするRodgersの方式が比較的精度もよく計算が簡単である事を示した。この結合係数は、80例の実測の気温と水蒸気の垂直分布に対しての精密な放射フラックスの計算結果から統計的に求めている。

Sasamoriは静止した成層大気に微小じょう乱を与えた場合の線形化方程式を解く事により、そのdissipation

に果たす放射の役割りが、対象とする現象の時間および空間スケールによって異なる事を示した。地球スケールよりずっと小さいじょう乱、また非常に速いか非常に遅い速度での外部加熱によるじょう乱に対しては、重力波による damping が効果的で、放射による dissipation を無視できるという結果を得ている。

カナダの Rao は、放射過程・オゾンの光化学反応および大気の運動をカップルさせた帯状平均の方程式系をつくり、成層圏の状態をシュミレートする試みについて発表した。気温、オゾン量や平均子午面循環の分布は観測とかなりよく合っていた。帯状平均方程式を用いるとき、じょう乱による南北輸送量の表現が常に問題になるが、Rao は

$$\overline{v'\theta'} = -\left(K_{yy}\frac{\partial\theta}{\partial y} + K_{yz}\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)$$

のような表現を用いた。 θ は温度である。これは、不安定な傾圧波動に対して時々用いられ、 K_{yy} と K_{yz} の間に準理論的な関係が存在する。

NCAR の Schneider と Washington は、静止大気での放射モデルを用いて、雲の効果をしらべ、雲量が減少するか雲の高さが増すと、全球平均された地表面温度が上昇することを再確認した。次に全海洋の表面海水温を気候値より一様に 2°C だけ高めて、NCAR の大循環モデルで数値実験を行なったが、それによると相対湿度が減りそれに対応して雲量が減少するというやや意外な結果を得た。以上の2つの実験結果を結びつけることにより、雲量と地表面温度の間に正のフィードバックがあり、気候を一方的に変化させる効果を持ち得る事が示唆された。

NOAA の Hanson は、熱帯の Canton 島や Swan 島などでの最近やく10年間の地表面到達日射量の測定値や、最近数年間内に行なわれた2、3の熱帯での実験観測での観測値が、Budyko らにより求められていた気候値より一律に10~20%も多いことを示した。全熱帯を通じてこれが事実ならば、海洋循環によって熱帯・亜熱帯から極の方に運ばれる熱量は、従来推定されていた値の2倍から3倍にもならねばならない事を強調した。

Vonder Haar は、現在までの米国の気象衛星による放射観測の全部をまとめ、7年間にわたる17季節に対し、大気-地球系の放射収支量の全球分布を求め、その年々の変動や空間的変動につき詳しく述べた。また、5年間の平均から、地球のアルベードが30%である事を確認し(気象衛星出現前は35%が信頼されていた)、さらに大

気-地球系の放射収支量の南北分布と最近の数値解析から得られた大気の循環による低緯度での熱の南北輸送量とから、海洋循環による低緯度での熱の北向き輸送量は全体のその40%にも達すると推定した。これは Hanson の結論と同質のもので、これ等2つの論文は低緯度では、従来考えられていたよりも可成り多くの日射量を獲得しているという重要な事実を提供している。

Sekihara は、気象研究所で行なわれている、数個のスペクトル領域(紫外域・可視域・赤外域)での日射や天空放射の測定により得られた種々の結果を紹介した。東京の紫外線強度はここ数年減少の傾向があり、また可視域と赤外域の強度比の変動の分散は増加の傾向があり、これらを自動車の排気ガス中に含まれる NO と関連づけた。さらに、スモッグが強い日は、赤外域の強度が強まるが、紫外域と可視域は却って弱まる事を示し、大気汚染の監視には、異なったスペクトル域での日射および天空放射の測定が有効であると結論した。

Heath と Krueger は、NIMBUS-III と IV による紫外領域の観測について2年間分整理した結果を示した。測定されたのは1200~3000Å での太陽からの入射量と2550~3400Å での地球のアルベードである。太陽から中間圏や成層圏に入射する紫外域の放射量は、太陽活動や太陽の自転により大きく変動し、可視域と違って太陽を一つの変光星と見做すべき事を強調した。一方、紫外域での地球のアルベードは、熱帯地方ではこの2年間にわたり殆ど一定で、数パーセント以内の変動しか見られないという興味ある事実を示した。(片山)

Session 12

Ground based and satellite soundings of the atmosphere

(Chairman: K. Sekihara)

地上および人工衛星からの大気遠隔探測、座長、関原ここでは Lee および Houghton による論文はあとの Houghton の招待講演の中に繰り入れられ代りに Barnett の論文が入り結局7つの論文が読まれた。内容を概観すると、人工衛星からの観測に関するものは Raschke および Vonder Haar のもの、Barnett のものおよび Malberg のものである。他はすべて地上からの観測であるが、そのうち Brogniez, Deschamps, Lenoble のものが赤外による温度測定の問題である。他は主として短波長の散乱に関係した論文である。

先づ Raschke, Vonder Haar の研究は NIMBUS-III 号のデーターに基づき太陽光の地球大気、地表による反射

光の分布と、同じく地球大気および地表からの赤外放射の分布を全地球的に算出したものである。この研究のねらいは、地球大気の上端における差し引きの放射エネルギーの分布を出すことにより大気中の低緯度から高緯度へのエネルギー移動を維持している状態に関する量的な裏づけを行なうと共に、力学的大循環モデルの妥当性についての裏づけをも狙いとしている。この目的のためには、少なくとも数年の一貫した観測が必要であるが、完全な観測要素を与えるものとしては、NIMBUS-III のデータは殆どはじめてのものである。解析の結果としては、これまでの他の衛星による解析と大体定性的に同じであった。年平均としては、地球はこれまで気候要素のデータから考えられたよりも暗く（アルベド28.5%）また暖かい（等価黒体温度255°K）ということである。これは第1に赤道地方において地球は太陽エネルギーをより多く吸収し赤外放射を少しばかりより多く放出しているということである。さらに細部にわたりエネルギーは赤道を越えて多少北向きに流れることになるとのことである。この他放射収支の緯度平均の傾度、およびその全地球的な変化が論じられている。

Barnett のものは1970年11月から1971年11月に至る NIMBUS-IV によるオックスフォードグループ開発になる Selective Chopper Radiometer の観測結果の解析である。これは 15μ CO₂ Band による大気温度分布の観測であるが、特別の工夫により最高 2 mb の高さの気温が分る。それによれば、夏季の 2 mb の気温は 80°N および 80°S でそれぞれ 276°K, 278°K であった。また、1971年1月9日の突然昇温時には 80°N で 275°K まで上昇したが2月12日の極小時は 215°K であった。南半球では変化はより少なく極小時で 230°K であった。赤道地帯で 2.5°K の振幅の半年周期が認められた。100 mb 高度では夏季気温は 80°N で 234°K, 80°S では 237°K であった。冬季気温は 80°N より 80°S の方が 20°K 低い。赤道地帯で振幅 1.7°K の年周期がみとめられた。この高さの緯度別年周期の振幅につき 80°S と 80°N との比をフーリエ分析から求めてみると 2.0 となった。これは 2 mb の高さでは、1.1 となる。80°S の年周期振動が大きいことは力学的にも放射的にも予想される。北半球高緯度の 1971年1月の気温と同時に赤道地方での数度の冷却が起こっていることが観測された。これは高さ 2 mb および 20 mb で著しい。これは既に NIMBUS-III により Fritz, Soules 等がみとめたことと一致する。

Malberg の論文は APT カメラの画像データから気

温垂直分布あるいはジオポテンシャルについての知識を求めるといふ一見奇異にも感じられるテーマであるが、内容は画像から低気圧または高気圧等のパターンを求めそれぞれのパターンにおける気温または気圧分布に関する統計的知見を求めこれをもとにしてまたそれぞれ個々の場合の実測とを組合せ実験的に、気温、気圧の値を推定しようとする実際的な狙いである。もちろん SIRS, IRIS 等のデータが得られればそれにこしたことはないが、APT 受画装置のみしか得られない所における一つの試みである。

他はすべて地上からの放射観測に関するものであるが、Polavarapu のものはカナダにおける日射観測の解析結果でラジオゾンデのデータにより水蒸気成分の影響を除きエアロゾルのみによると思われる消散係数を出しこれがリンケの混濁因子とよい相関関係にあると結論している。勿論この種の解析過程で太陽高度による変化は考慮に入れねばならない。

Zucv 他7名の論文はライダーによる雲または霧の観測に関する実験的および理論的研究である。ライダーによる霧の反射光測定の実験によれば、光学的厚さが 0.2 以下では反射光中の多重反射光の寄与は無視し得る。この効果は光学的厚さ 0.2 から 3 にかけて急激に増加し、50% 付近で飽和する。 $\tau=1$ 付近では 15% でこの項は無視し得ない。偏光成分は多重散乱に敏感で τ が 0.2 から 15 に増すにつれ偏光は 1 から 0.7 に変化する。理論的には、成層・一様な雲粒中におけるレーザー反射光を Mie 散乱と Monte-carlo 法を利用して計算し、光学的厚さ、受光器の開口角との関係等について検討している。光学的な厚さが大きくなると、また受光器の開口角が大きくなると多重散乱の影響は著しく大きくなっている。

Lenoble 他2名 (Brogniez Deschamps) の論文は地上からの温度測定に関し一つの方法を与えて若干の結果まで出している点で興味のある論文である。その方法は同じく CO₂ の発光帯を用いるのであるが測定は 750 cm⁻¹ の一波長を用いその代り測定の高角度を天頂角 0° から 30° までの 8 方位に関し行ないこれから inversion により気温分布（ここでは地上から 2 km まで）の推定をするのである。勿論直接の inversion は計算不安定で不可能であるが、ここでは多くのゾンデ観測の統計に基礎をおき、更に逐次代入法を用いた Smith の方法に頼り、若干これを改良して計算を行なっている。Smith の場合には逐次近似のための漸化式として

$$T_{(z)^{(n+1)}} = T_{(z)^{(n)}} + \sum_i \left[\frac{I_i^{ex} - I_i^{(n)}}{\frac{dB_i(z)}{dT}} \cdot \frac{dt_i(z)}{dz} \right] / \sum_i \frac{dt_i(z)}{dz}$$

を用いている。ただし $T(z)$ は高さ z の温度、 I_i は θ_i 方向の放射強度、 t_i は同じく透過関数、 B_i はプランク関数である。この論文では $T(z)$ そのものでなく dT/dz について漸化式を求めて同様の計算を行なっている。すなわち

$$\frac{dT_{(z)^{(n+1)}}}{dz} = \frac{dT_{(z)^{(2)}}}{dz} + \frac{\sum_i \left[\frac{(I_i^{ex} - I_i^{(n)}) \cdot t_i(z)}{-dT} \cdot \int_0^\infty t_i(z) \cdot dz \right]}{\sum_i f_i(z)}$$

となり

$$T(z) = T(0) + \int_0^z \frac{dT(\xi)}{d\xi} \cdot d\xi$$

で T の分布を求める。ex は正確な値、 (n) 、 $(n+1)$ はそれぞれ第 n 、第 $n+1$ 近似を表わす。結果は数百 m の高さにおけるインパーションの検出が可能となっている。計算法は改良によって安定性と精度の向上がもたらされている。

最後に Spänkuch の労作は表題の示す如くエアロゾルの透過光減衰率と散乱光諸性質からエアロゾルのどのような性質を導き出せるかを論じたものである。ここでは基本的出発点としてエアロゾルはすべて球形、屈折率は 1.5、粒度分布はその半径の対数が正規分布をなすと仮定してその中央値と分散を種々変えたエアロゾル分布につき減衰効果、散乱光強度の角度分布、散乱光強度の分光強度比、偏光成分比等に関し詳細な検討を行ない、この方面の今後の実験的研究の指標としようとしているものである。結論の 1、2 をあげると散乱角 140° 以下では偏光強度比は粒度中央値、分散にあまり左右されない。散乱角 80° 以下では、偏光度が同じく粒度中央値、分散に対し感じない。また散乱角 20° から 140° では、分光強度比が同じく中央値と分散に無関係となる。逆にいえば、これ以外の所でこれらに関係が大きくなるということである。またここでは、屈折率の変化についてはとりあつかっていないが講演者は今後この方面の研究を行なう予定とのことである。ここでは簡単にこの論文の一端のみを述べたのであるがこの労作は中々大部のものでこの方面の学問への重要な貢献であることはたしかである。(関原)

Session 13

Meteorological satellite

(Chairman: N. Kodaira)

1972年11月

この Session では Invited paper を含んだ次の 3 つの講演が行われた。

(1) 英国の Clarendon 研究所、大気物理研究部の J. T. Houghton による “Meteorological satellite” では、気象衛星による遠隔観測について総合的な報告がなされ、特に次の点が強調された。

a) 海面温度と気候との関連では高い精度の海面温度が必要である。いくつかの赤外窓領域がこのために使えるが、これら窓領域の伝播特性は正確には分っていない。特に 11μ 付近では水蒸気による減衰が問題で、いくつかの仮定の元に補正を行う実験式を導いた。

b) 気候の長期的監視のため地球大気の放射収支系の測定が必要である。十分な精度を得るため、衛星の配置、観測間隔、装置および衛星相互間の較正の問題について十分検討する必要がある。

c) 温度の垂直分布の測定では対流圏内の雲が特に低層の気温に大きな誤差を与え、rms diff. で晴天のとき $1 \sim 2^\circ C$ 、曇りのとき $2 \sim 3^\circ C$ の誤差が生じている。ここ 2~3 年の NIMBUS の実験で、視野を狭めること、マイクロ波により雲を通して測定することなどによりこれらの問題を解決しようとしている。また USSR では Laser を衛星に搭載することも考えられている。

(2) D. Q. Wark (NOAA, NESS, Satellite Experiment Laboratory) は “Considerations in deriving temperature profiles in the earth’s atmosphere from satellite infrared measurements” について講演した。衛星による赤外放射の測定から気温の垂直分布を求める方法には、Statistical method, Minimum information method, Iterative method, Non-linear method などの方法がある。近く打上げられる ITOS では VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer) により 15μ の CO_2 吸収帯により気温観測が行なわれるが、 CO_2 吸収帯を 6 つに分け 0.5% の精度 (相対的には 0.125%) で測定する他、 18.7μ の水蒸気吸収帯により CO_2 帯の水蒸気の吸収による誤差の修正で、 12μ の窓領域により海面温度と雲の有無の測定を行う。

(3) V. G. Kunde, B. J. Conrath, R. A. Hänel, C. Prabhakara, V. V. Salomonson (NASA, Goddard Space Flight Center) は “The NIMBUS-IV infrared spectroscopy experiment-measured and calculated radiances” について述べた。NIMBUS-IV の IRIS はマイケルソン型の干渉計で $5 \sim 25 \mu$ を分解能約 0.5μ の程度で測定できる。ロケットとの比較観測の結果によると

10%以内で一致している。15 μ のCO₂帯では有効な温度分布を求めるためには1%の精度が必要であるが比較の結果では5~10%観測値の方が高い。

窓領域(15 μ)の比較によると地表温度は1~2°Cの精度とみられる。また9 μ より12 μ 付近の方が誤差が大きいのは水蒸気の影響よりもむしろ薄い絹雲によるものと考えられる。(小平)

Session 14

Inversion theory and atmospheric transmittances

(Chairman: V. E. Zuev)

Session 14でおこなわれた講演は次の3つで、その概要を紹介する。

(1) Remote Temperature Inference and Diagnosis of Instrumental Error Using Pade Inversion—Jean I. F. King—

放射の測定値より気温の垂直分布を求める際、幾つかの困難があるが、著者はそれを次の三つに大別した。

a. 解が一意的でないため、それらの解の中より合理的な一つの解をうるために、形式的、主観的な制限の導入を余儀なくされること。

b. 観測のChannel数が増えると、かえって周知のような計算不安定の原因になること。

c. inversion methodの多くはある種の先験的なSmoothing法を通じてnoiseをおさえることによってnoiseを処理しようとしている。しかしこの捨てられたnoiseのなかに大気の熱構造に関する隠された情報が含まれている危険性がある。

このように解の一意性を得るために、主観的な情報を入れたり、noiseをおさえたりするために、大気の真の熱構造をさがし出すことを、ほとんど不可能にしている。そこで著者は観測資料に含まれる熱構造に関する情報をすべてとり出す一つの方法を提案した。

(2) Determination of Atmospheric Transmittance from Sun and Sky Measurements with an Infrared Vertical Sounder—W. L. Smith and H. B. Howell—

人工衛星等から放射の測定によって気温や湿度の垂直分布を推定する場合、大気の透過関数の正確な知識を要する。従来この関数は実験室での測定や理論的計算より得られた資料を基にして作られているが、実際の気の場合には経験的な補正を加えなくてはならないことが知られている。それ故、実験室での測定や計算によって求めた透過関数が実際の気とのどの程度異なるかを

研究する必要がある。

そこで著者達はNIMBUS-Eに搭載予定のITPRのPrototypeを用いて地上から太陽や空のemissionを測定して大気の透過関数を求めた。測定はハワイのMauna Loa観測所(11,150 feet)で1971年の11~12月におこなった。

その結果、507 cm⁻¹と714 cm⁻¹では太陽および空のemissionから独立に推定した透過関数はよく一致し、また両方とも理論的計算とよく一致していたが、750 cm⁻¹のところでは透過関数の間に不一致があった。これは連続吸収帯の取扱いの誤差によるものと思われると述べられた。

(3) Transmittance Functions for Satellite Temperature Sounding—R. A. McClatchey—

これは人工衛星による赤外放射の測定から、気温の垂直分布を推定する際、正確な放射測定や安定な数学的推定法を必要とするのみならず、非常に確かな透過関数が必要であることを論じたものである。

気温の推定には、最初CO₂の15 μ 帯の分光測定が考えられたが、後4.3 μ 帯の分光測定も考えられた。両者のうち、何れがよいかについてはまだ議論があり、これらCO₂以外の吸収帯についても議論がある。15 μ 帯のところでは水蒸気の吸収があり、4.3 μ でも、これよりは少ないが水蒸気による吸収がある。またオゾンによる吸収もある。このため緯度による大気の透過関数の差がある。これは吸収帯の中心付近では小さいが、端部では大きい。それ故、精密な気温の垂直分布の推定には、水蒸気、オゾンの測定も同時におこない、それに基づいて大気の透過関数をその都度改善して気温の決定を逐次代入法で求めることが必要となる。

4.3 μ 帯ではPlanck関数の強い温度依存性のため、地表付近および1 mb付近からの情報は増すが、圏界面付近では逆に減少する。そこで、15 μ と4.3 μ の両方を結合し、同時に水蒸気やオゾン分布の情報を得ることが赤外で気温の垂直分布を推定する最も良い方法を与えるものであろうと述べられた。(嘉納)

Session 15

Atmospheric transmittances and spectral parameters

(Chairman: W. L. Smith)

Sessions 15でおこなわれた講演は次の6つで、その概要を紹介する。

(1) Atmospheric Transmittances used in Indirect Soundings of the Earth's Atmosphere—D.Q. Wark—

放射の分光測定より気温、湿度の垂直分布を求めるには、炭酸ガス、水蒸気、オゾンによる大気の透過関数の正確な知識を要する。しかし計算による大気の透過関数の値と気球による測定や人工衛星による測定から推定されたそれとは食い違いがある。また最近他の研究者達に指摘されているように水蒸気は不十分に扱われている。そこで著者は適当な透過を確かめる方法を提案し、そして、1972年の中頃に炭酸ガスの 15μ 帯の透過関数の新しい測定の計画を提案し、同時に水蒸気の透過関数は人工衛星による放射の分光測定から評価されることを述べた。

(2) The Problem of the Shape of the Wings of Absorption Bands and its Present State—V. E. Zuev, S. D. Tvorogov and V. V. Fomin—

Anderson の理論で得られた波長別吸収係数の式から理論を展開された。その結果 foreign gas broadening の場合には、中心から遠く離れたところで鮮明な非対称性をもつ line shape が得られた。また self broadening の場合には、次の 2 つの結果が得られた。すなわち、resonant interaction では line wing で殆ど対称的な強度分布が得られ、nonresonant interaction では foreign gas broadening と類似の broadening が得られた。この理論を基にして、大気の窓領域における吸収の計算がおこなわれたが、計算には水蒸気の self-broadening の効果を入れる必要があることが述べられた。

(3) An Experimental Study of the Water Vapor Absorption Spectrum by Laser Spectrometer of High Resolution—V. E. Zuev, V. P. Lopasov and A. P. Goldeosky—

気体の原子間、分子間相互作用の特性についての最大限の情報は吸収スペクトルが 10^6 より小さくない分解能で記録される場合にのみ得られる。現存の標準の分光器ではこのような高度の分解能を得ることはできない。

この高度の分解能を得る最善のものはレーザー分光法を用いることであると思われる。

そこで著者達はレーザーを用いて、高分解能で、発生周波数を reform することができ、また発生周波数の設定、再現の精度を高めるのに工夫をこらした装置をつくった。この装置を用いて、水蒸気の 6943.8Å 付近のスペクトルの微細構造を研究した。その結果 6943.8Å の線スペクトルの測定された吸収係数は他の著者 (Kerr and Atwood Vasilevsky) の値より大きい値が得られた。

著者はこれを彼等の装置の高分解能によるものと説明

する。 6943.8Å の integral intensity は他の研究者のそれと実験誤差内で一致すると述べられた。

(4) Influence of Intermolecular Forces on the Estimate of Absorption of the Atmospheric Gases Radiation in the Infrared Range—V. N. Brukhanov, O. K. Voitsekhovskaya, V. E. Zuev, I. I. Ippolitov and Yu. S. Makushkin—

nuclear system の質量中心からの分子の質量中心の移動および Born-Oppenheimer 近似に対する補正を考慮した振動、回転運動に対する Schrödinger 方程式が得られた。この Schrödinger 方程式を摂動法で解き、effective nonrigid rotor の種々の Hamiltonian term のエネルギー準位におよぼす影響の解析について沢山の数値実験がなされた。また F-factor のパラメーターを実験で決定すると同時に現在知られている分子定数を用いて計算した。その結果両者の間に差異が見出され、この差は電子-核子相互作用によって生ずることが示された。

(5) Collision-Broadened Line Shape Measurements on Planetary Atmospheric Molecules —P. Varanasi, L. A. Pugh and S. K. Sarangi—

$^{12}\text{CH}_4$ の基本振動 ν_3 の lines R(0), R(1), R(2) の強度や半幅値を $82\sim 275^\circ\text{K}$ の種々の温度で測定した。その結果、これらの吸収線の半幅値は水素、ヘリウムとの衝突による broadening および self broadening については Lorentz の半幅値で示される。吸収線の半幅値の温度依存性についての実験の結果、 $\text{CH}_4\text{-H}_2$, $\text{CH}_4\text{-He}$ の半幅値は最も普通に仮定される $T^{-1/2}$ で変化することが分り、これよりメタンのヘリウムとの衝突による broadening と同様水素との衝突による broadening における衝突相互作用は弱く、回転項の値に全く鈍感であることを信じさせる。アンモニアの ν_2 band の幾つかの rotational line の水素との collision-broadened による半幅値や形が 0.15cm^{-1} の波数分解能でもって室温で測定された。その結果、測定された吸収線のすべてについて、 $\text{NH}_3\text{-H}_2$ 衝突の吸収線の形は双極子、四極子衝突に対しては Supper-Lorentz line shape に従うと思われると報告された。

(6) The Spectral Absorptivity by the 9.6μ Ozone Band—Masaru Aida—

成層圏、中間圏の熱収支でオゾンは重要な役割を演ずるが、著者はその一つの基本物理量であるオゾンの 9.6μ 吸収帯の波長別吸収率を計算した。

計算は個々の line parameter を基にして、homoge-

neous path について行なった。その際、吸収線の形は Lorentz 形を仮定し、半幅値は Anderson-Tsao-Curnutte の理論を O_3 -air に適用して求め、基本的な吸収線の位置や強度は Clough and Kneizys によって計算されたものを用い、その他の付加的な弱い吸収線については、この研究で新たに計算したものをを用いた。また ν_3 吸収帯とともに、3つの hot band, 2つの isotopic band に対して計算をおこなった。これら5つの吸収帯の回転構造は ν_3 の基本振動のそれと同じであると仮定した。さらに O_3 の四極子能率に関する知識の不足を補うために、Walshaw の得た $293^\circ K$, 760 mmHg で 0.078 cm^{-1} という平均の半幅値に計算を調整した。

このようにして計算した integrated absorption は極端に長い路程を除いて Walshaw や Shaw の実験値および実験的公式とよく一致する。この計算では考慮しなかった ν_1 吸収帯の overlap の効果は $u=0.1 \text{ cm}$ から始まり、長い路程ではかなり顕著となる。波長別吸収率についても著者の計算値は、McCaa and Shaw の実験値をよく再現している。

Session 16

Advanced space technique for temperature and constituent soundings

(Chairman: D. F. Heath)

この Session では人工衛星による地球大気の探査に関する新技術が話題としてとりあげられた。読まれた論文は Bolle の招待講演を含めて5編、title のみ読まれたもの4編である。Bolle の招待講演は気候変動や人為的原因による気候の変化の研究において重要となるいくつかのパラメータを人工衛星からモニターすることの必要性を述べたもので、この問題に関する最近の COSPAR W. G. 6 の活動の報告である。気候を決定する一次的な要因は放射収支とその空間的・時間的変化であるが、これを評価するために必要となるパラメータのうち温度分布、雲量、水蒸気、オゾンなどを観測するための測器については既に気象衛星に積んで飛ばした経験もあり一応の見通しが得られているが、雲物理的パラメータ、エアロゾル、微量ガス成分などの観測のためには新しい測器の開発が必要である。考えられる新規測器としては、偏光光度計、相互相関分光放射計、ライダーなどがあげられる。偏光光度計は反射太陽光の偏光状態を観測してエアロゾルや雲粒の量、粒度分布を推定するためのものである。ライダーも同様の目的に使われるが、この方はエアロゾルの垂直分布、雲頂・雲底高度の決定に役立つ

だろう。相互相関分光放射計は微量ガス成分の検出と定量のための測器である。その原理は空間に放出される赤外放射または反射太陽光のスペクトルを観測しようとしている微量ガス成分の独自のスペクトルの間の相互相関を作ることによって、水蒸気や炭酸ガスの吸収帯に重畳して埋没している微量ガスの放射や吸収を検出するというものである。このような測器の開発と並んで、観測方法の上でもライダーによる能動的な後方散乱の観測、地球の縁 (limb) 付近で測器の角度を連続的に変えた観測、太陽や月の人工衛星から見た掩蔽を利用した観測などを従来よりもっと積極的に活用することを考えなければならない。更に今日既に気候の研究に利用し得る資料を供給しているものについては、データーの精度の改良、長期間に亘る放射計の性能の維持制御および異なる人工衛星に積んだ測器の相互比較などの問題も解決する必要がある。これらの点に関して近い将来に COSPAR W. G. 6 と Radiation Commission の協力のもとにより煮詰められた問題提起がなされることになるだろう。

次に Curtis, Peskett, Houghton, Rogers 等オクスフォードのクラレンドン研究所のグループは、彼等が NIMBUS-F (1974年) に搭載するために開発している圧力変調式放射計 (Pressure Modulator Radiometer (PMR)) について講演した。このグループはすでに NIMBUS-IV (1970年) に選択吸収チョッパー式放射計 (Selective Chopper Radiometer (SCR)) を搭載して、成層圏温度の全球的観測に成功しているが、今回の試みは測定範囲を中間圏にまで拡げることをねらったものである。新規に開発されている PMR は、基本的には NIMBUS-IV の SCR の改良であるので、SCR について簡単に説明しておこう。人工衛星から温度の垂直分布を遠隔的に探査する場合 $CO_2 15\mu$ 帯域の放射の分光観測が用いられるが、普通のやり方では検出可能な放射エネルギーの量や測器の重量の制限があって波長の分解能はあまりあげられない。現実的な線はせいぜい数 cm^{-1} の分解能である。すなわち数本ないし数十本の吸収線を含む波長範囲毎の放射強度が観測される。ところで吸収線の中心付近とそれから少し離れたところでは吸収係数が著しく異なる性質があるため、吸収線の中心付近の波長の放射は大気の上層から放出された放射であるのに対し、これから離れた波長すなわち吸収線と吸収線との間の吸収の弱い波長の放射は大気の下層から放出されたものである。インヴァース・プロブレムというのはそもそもが吸収の強い波長域の放射は大気の上層から放出された放射

であり、逆に吸収の弱い波長域の放射は下層から放出された放射であるという性質を利用したものである。このように各波長域の放射そのものが上層から下層までの広い範囲に亘っているということは具合の悪いことである。特に成層圏以上で温度の垂直分布を評価する立場からは全く具合の悪いことになる。SCR というのはこの困難を避けるために考案されたもので、人工衛星に到達する放射をフィルターでおおまかに分光した上で少量の CO_2 を充填したセルと空のセルを交互に通し、その差を検出するという方法をとっている。この方法では検出されるものは空間に放出されている放射のうち、セル内の CO_2 で吸収を受けた放射の量であって、主として各吸収線の中心付近の放射強度だけを測定していることになる。光学的な分解能があって大気上層の情報が得られること、各フィルターで区別される波長域の荷重関数がせばめられ高度に関する分解能があがること、各吸収線の吸収を全部積算しているので分解能をあげて且つ充分の信号が得られること、更に重畳した H_2O 等の影響を除去できるという優れた利点がある。ただこの方法でも光学的分解能に一定の制約があり測定可能な高度の上限は約 50 km である。今回報告された PMR は 45~90 km の高度範囲の温度分布の測定を目的としたもので、 CO_2 の充填されたセルを用いることは SCR と同じである。改良された点は CO_2 セルと空セルを交互に通す代わりに CO_2 セルの圧力をピストンによって周期的に変調させることによって高分解能を得るといった新しいアイデアを取り入れた点である。気体の吸収線は分子相互の衝突やドップラー効果によってある広がりをもっているが、 CO_2 15 μ 帯についていえば 50 km 以下では衝突の効果、また 50 km 以上ではドップラー効果が卓越する。衝突による線幅は圧力に比例し、低圧だけ狭くなる。一方ドップラー効果による線幅は温度だけできまるが、これは大気温度では極めて狭い。従って CO_2 を充填したセルの圧力を変調させ低圧時と高圧時の差を検出することによって SCR よりはるかに高い光学的分解能を安定して得られる。ただしこの場合検出器の S/N の関係で放射エネルギーを増やす必要があるため、SCR の場合のようにフィルターによるふるいわけは行わず CO_2 15 μ 帯全域を用いる、その代り地上からのコマンドによりセル内の CO_2 の量を制御することによって圧力の変調範囲を変え、これによって吸収線の中心からの距離の異なる部分の寄与を検出して温度の垂直分布を出すのである。これを圧力走査 (pressure scanning) といっ

ている。このほか人工衛星が分子の熱運動の速度の約20倍の速度を持つことを利用したドップラー走査 (Doppler scanning) というものも考えられている。これらの技術開発により NIMBUS-F がある時点では地表からメソポーズまでの気温分布とその変化の様子が全球的に得られる明るい見通しが得られたわけで、その結果は誠に待ち遠しいものがある。 CO_2 の代りに他の気体たとえばオゾン充填したセルを用いるとオゾンの垂直分布が得られる。この Session の最後の講演で Houghton は PMR 技術をこのような他の問題に応用して行こうという提案を行なっている。

予定の紙面を大分超過してしましたが、最後にコロラド大学の Mckee の講演および NCAR の Gille 等の講演について簡単にふれておこう。どちらも地球の縁 (limb) 方向から来る赤外放射を測って上層大気の温度の垂直分布を推定する方法に関するものである。今ある瞬間に人工衛星に搭載した放射計をその位置から引いた地球の接線の方向に向け、しばらくの間その向きを保たせるならば、はじめは下層大気から上層大気までを含む水平気柱から放出される放射が測られ、次第に上層大気からなる水平気柱の放射だけが測られるようになり、やがて大気層は視野に入らなくなり放射量は 0 となる。この一連の放射観測を解析することによって気温の垂直分布が得られるわけである。放射量が 0 となり大気層が視野からはずれたことを確認したら再び放射計の向きを変えてその場所からの接線の方向を望むならば、はじめの地点とは少しちがった地点での温度分布が得られる。この方法の利点は観測資料から温度分布を出す解析の方法にインヴァース・プロブレム独特のあいまいさが無いこと、および水平方向の長い光路を対象としているため稀薄な上層大気の探査が有利なことである。Mckee はこの方法で推定した温度分布とロケットによる実測値を比較し、0.5 mb 高度までかなり良い一致の得られることを示した。Gille のグループはこの方法を利用した測器 (Limb Radiation Inversion Radiometer (LRIR)) を NIMBUS-F に搭載することを計画しており、その instrumentation の問題点を考察している。(田中)

放射委員会ビジネスミーティングについて

5月27日 15時~17時 および 5月31日 17時~19時の二日行なわれた。要旨以下の通り。

1. 1972年3月 Inter Union Commission on Solar Terrestrial Physics (IUCSTP) の会議で提案された問題のうち本委員会が関連するとしてとりあげるべき課題は

5つあるが、そのうち重要なものは、大気外の太陽エネルギーの絶対値を各波長毎に決定することである。

2. COSPAR W.G. 6は、国連人間環境会議に、宇宙技術を用いた気候要素の監視システムに関し意見を求められているが、本委員会に対し協力を求めてきている。本委員会としては、測定すべきパラメータを決定することと放射測定の検定 (Calibration) に関し協力できるであろう。この問題の核心は、少なくとも10年間は継続する観測であるが、地上あるいは気球観測による協力が必要であること、検定の問題が非常に重要であることである。これに関しては、Bolle, Houghton, Wark, 関原の4人が、特別委員会を構成して具体的協力を検討する。

3. 放射ゾンデ比較観測について、Gille氏により、昨年の結果が報告された。これによると、上向きフラックスは下向きフラックスより概して精度よく観測されている。異なった器械間の差異は依然として存在している。本委員会としては、以下の勧告を採択した。

- a) 真空槽、風洞中における検定法の改良
- b) 航空機搭載用準器の開発
- c) 衛星および地上との比較
- d) エアロゾルと雲の垂直分布を同時に測定すること
- e) 測定結果の活用
- f) 新器械の開発
- g) JOC に対する特別委員会においてこの種の比較観測を更に継続すること、これに関して GARP が更に協同責任をとってもらふこと。(特別委員会の構成は Fimpel, 矢田, Kuhn, Kuznikov, Müller, 関口, 清水, Shlyakov)

4. Hanson氏は客員として委員会に招かれ1973年4月24日から5月8日まで、GARPの一環として放射の各国準器の比較を行なうが、これを国際比較観測として authorize してもらふよう提案したが、これは既に、以前にやってあるので authorize されたものとして、各国に呼びかけることは認められなかった。

5. プロシーディングの発行に関しては、できるだけ速やかに発行することを前提に Bolle および関原に任された。(以上第1日)

6. Abbot 博士はこの5月1日で満百歳を迎えたが、これに祝意を表すことが決議された。

7. Kuhn から来年の放射ゾンデ比較観測 (1973年4月, アメリカ, バージニア州 Sterling) に資金援助がある旨発表。

8. Houghton から前述 2. の特別委員会の作成した

国連会議への報告案が提出され了承された。この委員会はこの目的のために専門家によって構成されるサブグループを提案した。

W. G. 6 報告書のレビューに関しては、London, Hinzner, Budyko, Wark, 山本が推され、(これは主として書面で行なわれる) Calibration に対するサブグループのメンバーとしては、Heath (長), Yanishevsky, 嘉納, Stewart, Labs, National Bureau of Standard の誰か, National Physical Laboratory の Gillham が推された。

9. Kuettner から GATE Radiation Sub-programme に対し本委員会が Coordinator になる趣旨の提案がなされたが、これは本委員会は GARP に対して責任を有するが GATE に関しては、公式の関係を有し得ないという理由で直接にこれを受け入れるわけには行かぬが、今後の GARP の各種の放射関係の Sub-programme に対する本委員会の対処の仕方を検討する旨回答された。

10. Wark および Dogniaux からそれぞれ GATE および他のプログラムに関連して器械の検定に関し提案がなされ投票により採択された。

11. Lenoble は、放射伝達の計算方法の標準化とプログラムライブラリの設定を提案、これは、Dodgers により Kondratyev 提案の標準放射大気と重複するとの発言があり、結論は将来の ad hoc グループに委ねられた。

12. 1973年9月7日~21日に URSI-COSPAR-IAGA-IAMAP の「中間圏と下部電離圏の力学と化学に関するシンポジウム」に本委員会が共同主催者となる。

1971年4月1日にメルボルンの IAMAP 総会において本委員会が企画した「Radiation-Cloud Physics シンポジウム」および「成層圏における組成と汚染」ならびに、「気候と放射」にそれぞれ主催または共同主催する旨決議された。

次回の Radiation シンポジウムは1976年なるべくオゾンシンポジウムとあまりはなれないように、結論は1974年1月のIAMAP総会において決定の予定。

13. その他 Wark による透過関数に関する提案、Howard による放射の単位に関する提案、Volz による直達日射計に関する提案がなされたが、時間不足で十分な議論はできなかったが、Wark の提案は人工衛星による観測が各種存在し増加しつつある現在、透過関数に関し統一見解に達するよう努力することは容易に理解され、事務局で、善処することが、認められた。

14. 最後に委員長の Local Arrangement Committee

に対する謝辞がのべられ、プロシーディングの印刷は

LAC が受け持つことを了承した。以上報告おわり

出席者 London (委員長), Bolle, Dogniaux

Hinzpeter, Houghton, Lenoble, Mani,

Möller, Spänkuch, 関原, Wark, 山本,

Zuev.

(第1日客員) Gille, Hanson, Marchgraber

(第2日客員) Kuettner, Marchgraber, Rodgers.

(関原)

【新刊紹介】

A. C. Zettlemoyer 編：「Nucleation」

Marcel Dekker Inc., New York, 1969, 606pp

アメリカの界面化学者である編者が、12人の異なった方面の専門家を集めて、大学院コースおよび核生成の専門家のために書いた11分野の総合報告的テキストである。

1気圧のもとで、水と氷は 0°C で熱力学的平衡を保って共存するが、雲粒は核がなければ -40°C ではじめて凍結する。このように、核生成は熱力学的平衡から離れた条件下でおこる。Nucleationとは、核生成、核形成、核化作用、核活性化などと呼ばれる幅広い用語である。過冷却水の凍結とか、過飽和蒸気の中で微水滴が生れたり、露点計の鏡面がくもるなど、相変化のおこりはじめに、あらかじめ存在する異物質からなる核が作用するときに使われるし、また全く異物質がなく、第1相内に分子運動の統計的ゆらぎから第2相の微粒子が生ずる場合にも使われる。

核生成は結晶学、冶金関係の物理や化学はもちろん、医学から林学にも関係がある。赤ん坊の身体の中

に骨や歯ができるのはタン白質の助けを借りてリン酸カルシウムの核生成がおこるからである。たん石やじん臓結石も核生成の問題であると述べてある。林学では 0°C 以下の気温で針葉樹や昆虫が凍らないで冬を越す問題がある。

気象としては、第10章「大気中の核生成」と題して、E. A. Boucherが、凝結核、氷晶核、水滴の凍結、Turnbull-Fisherの式、Fletcherの式、コールド・ボックス実験、核の上の水分子の吸着を記述している。第2章「蒸気相内の均質核生成」も関連があり、分子ビームを使って核生成の中間生成物を調べる話が面白い。

第1章の中の歴史と展望が適切で、第1章からどの章へも読み進むことができ便利。ただ著者たちが記号文字の統一を心がけたせいか、元の文献の文字が所々顔を出して、式のスプリントが少なくない。

(駒林 誠)