

気候と放射研究の周辺*

—WCRP 放射フラックスワーキンググループ報告をふまえて—

中 島 映 至**

1. はじめに

WCRP の放射フラックスワーキンググループ会合が1996年7月22日から26日までアイルランド、キリニーで開かれた。今回から、議長が Vonder Haar 氏から Graem Stephens 氏 (コロラド州立大学) に代わったこともあり、メンバーの入れ換えが見られた。この会合は年1回定期的に開かれるが、この1年間で起こった多くの事が報告された。同様なタイトルの私の前回の報告 (中島, 1994) が2年前であったので、この機会に気候研究と放射研究の接点に着目して内外の現状を振り返ってみたい。第1図に示すように WCRP (World Climate Research Program) の下にある GEWEX (Global Energy and Water Cycle Experiment) には、水文気象、モデル、そして放射と言う3つのパネルがある。気候システムを速いプロセスと、温暖化のような遅いプロセスに分けて考えると、GEWEX と CLIVAR (A Study of Climate Variability and Predictability) が両者をそれぞれ支える核になっている。第1図はこの5年間で急速に書き換えられ、また拡張されており、温暖化や地球環境変動に関連する研究機会が急速に、まるでビッグバンのように拡大していることを物語っている。これはベビーブーマーの年齢と関係がないかしら。私などは昨今の研究体制の構造が、70年代の学生運動の時とあまり変わらないな—と感じているこの頃である。たぶん、あと十年もすると養老環境の問題が焦点になるかも知れない。

さて、今回の会議では、放射と気候研究の観点からエアロゾル研究の重要性が指摘され、それを支えるために放射パネル (GRP) のもとにエアロゾルプロジェクトを立ちあげる勧告が出されることになった。また、衛星データが増大する中で、信頼できるデータのアーカイブに関心が高まっていることを受けて、本会合に引続きデータマネジメントの会合が開かれた。GRP の目的は、雲、水蒸気、降水、放射収支、地表面特性、エアロゾル等の研究を通して、気候形成の物理過程をよりよく理解することである。これらの研究を支えるのは、ISCCP, GVaP, GPCP, SRB, BSRN の各プロジェクトであるが、これらが着実に成果をあげていることが見て取れた。

近年、ますます各分野間の相互協力が進んで、その意味で、GEWEX と CLIVAR との相互作用が重要であると各プロジェクトの上層部は叫んでいる。GRP でも、以下のような WCRP の他のプロジェクトとの共同研究の重要性が指摘された：

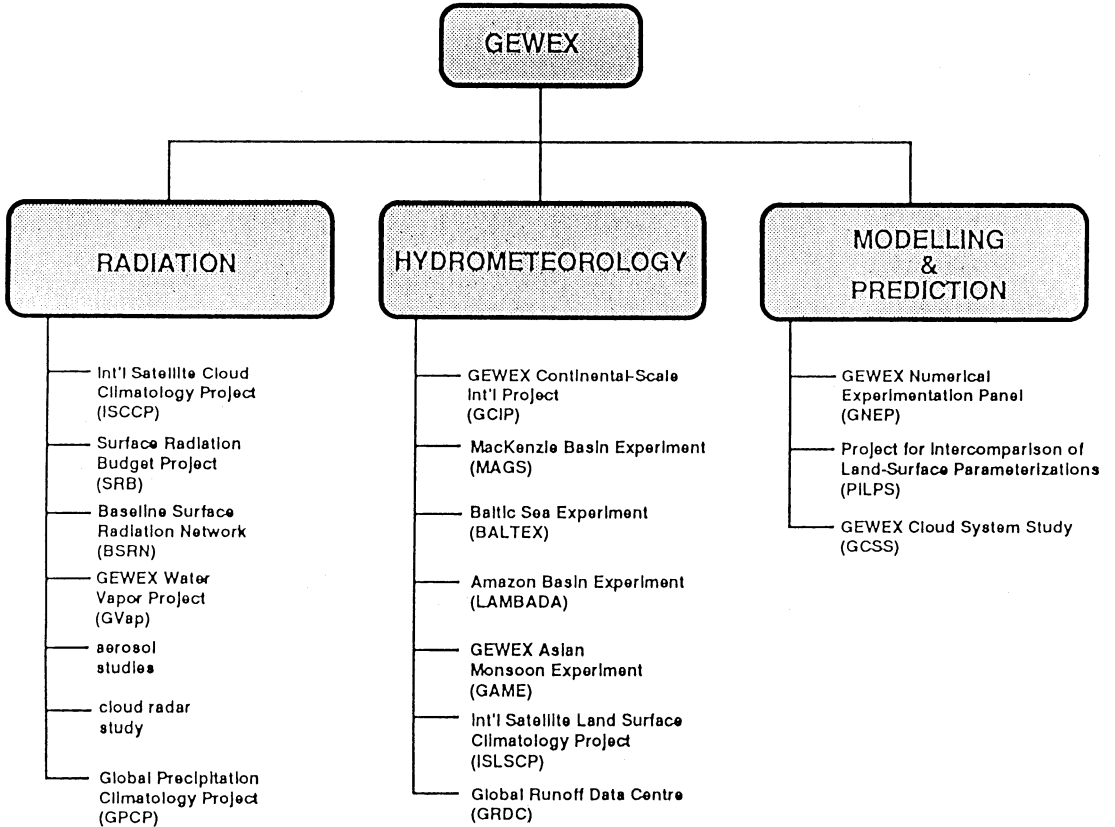
- ACSYS : 極域雲、凍雨、アークティックヘイズ
- SPARC : 対流圏上層の水蒸気
- CLIVAR : モンスーン開始時における地表面 (雪、アルベド等) の影響、全球 SST における日変化と風の影響
- ISCCP : 高分解能の放射収支 (1度×1度, 3時間おきの雲、地表面放射収支、光合成有効放射量)

2. ISCCP (国際雲気候計画)

ISCCP は再解析が行なわれている。その中で、検定定数の改訂、上層雲の光学モデルの改良、陸上雲の検知アルゴリズムなどの改良が行なわれた。再解析を機に活動をレビューするための会合が1996年4月に

* On the Climate and Radiation Studies—attending the WCRP WGRP Meeting—.

** Teruyuki Nakajima, 東京大学気候システム研究センター.



第1図 GEWEX の組織。

NASA の GISS 研究所で開かれた。現在、入手できるのは次のデータである。

- B3, BT データ : 1983年7月から1994年6月
- 海水, 雪氷データ : 1983年7月から1994年12月
- C1, C2 データ : 1983年7月から1991年6月
- DX, D1, D2 データ : 1986年6月から12月, 1990年1月から1992年12月

今後の再解析は、時間順ではなく優先順位に応じて行なう予定である。再解析による雲統計の改訂の例として1986年のC2とD2を比較してみると第1表のようになる。陸上、極域でのしきい値、氷晶雲の光学的モデルを変えたので、陸上、上層雲、極域での変更が大きい。これらの新しい解析結果を含めて、雲気候データの解析が進んできたので、全球平均的な描像の記述から、地域変化、日変化に関する解析も着目されるようになった。例えば、スキン温度と大気温度の間に1.5時間くらいのずれがあり、これらの日周変化の違いを大循環モデルにも取り込む必要があることが指摘され

第1表 ISCCPの雲統計の比較。改訂前のC2データセットと改訂後のD2データセットによって1986年の雲統計を比較した。

	C2	D2
海上雲量 (%)	71.2	73.0
陸上雲量 (%)	46.0	58.8
全球雲量 (%)	63.4	68.6
巻雲雲量 (%)	14.2	16.9
光学的厚さ	6.6	4.3
雲頂気圧 (hPa)	600	580

た。また、今後は、ISCCPの解析にSSM/I放射計の解析を組み込む計画も進行中である。

ISCCPではGEWEXへの貢献としてGEWEXの局地実験にデータを供給するサービスを行うことが表明された。

3. GVap (全球水蒸気計画)

第1期パイロットスタディー (Phase I) が1993年から1995年にかけて行なわれた (Randel *et al.*, 1996). 1度×1度, 気柱量と3層における水蒸気量の全球分布をTOVS, SSM/I, ラジオゾンデから求めるのが目標である。アーカイブは1988-1992年の期間まで終わり, 1997年まで延長されることになった。対応するNASAのプロジェクトであるNVaPではNASAのデータセンター (DAAC) において, GVaPを基にデータをアーカイブしている。現在, 次期計画であるGVap Phase II が計画されている。これらの拡大しつつあるプロジェクトの現状を受けて, GVaP 国際ワークショップが1996年11月12日から15日までウィーンで開かれた。

GPS を利用した水蒸気量の推定についても研究が進んでいる。地上設置型のGPSによる水蒸気量の評価の精度は1-2 mm 程度であり, 既存の人工衛星による推定精度よりも高く, 将来有望な手法であると期待されている。受信機を衛星に搭載して, 全球の水蒸気を推定するようなGPS気象衛星のプロジェクトがある。

4. BSRN (基準地表面放射収支ネットワーク, [http : //www.geo.umnw.ethz.ch/wrnc](http://www.geo.umnw.ethz.ch/wrnc))

昨年は9点の新たなサイトが提案された。現在, 確実に稼働しているものが18点程度あり, データの利用価値が増大してきた。日本でも, 気象庁の筑波サイトと南極昭和基地サイトが運用をしている。放射収支の他に光合成有効放射量, 紫外線量, 雲底高度などの補助観測の重要性が指摘されているが, その最優先順位はエアロゾルの光学的厚さの観測である。エアロゾルの光学的厚さを観測できるスカイラジオメーターやシャドウバンド放射計が, バイオマス燃焼の盛んな地域, 例えば, アマゾン域へ投入されつつある。日本のGEWEXでもアジア地域へのこれらの測器の展開が実施されつつある。

今後の問題点として, いったいどれだけの観測点が必要かについて, 量と質の面から検討する必要があることが指摘された。

5. SRB (地表面放射収支プロジェクト)

SRBプロジェクトでは, アフリカ, 東南アジア等で, バイオマス燃焼の煙によるバイアスがあることが認識されるようになった。すなわち, ERBE等の衛星搭載

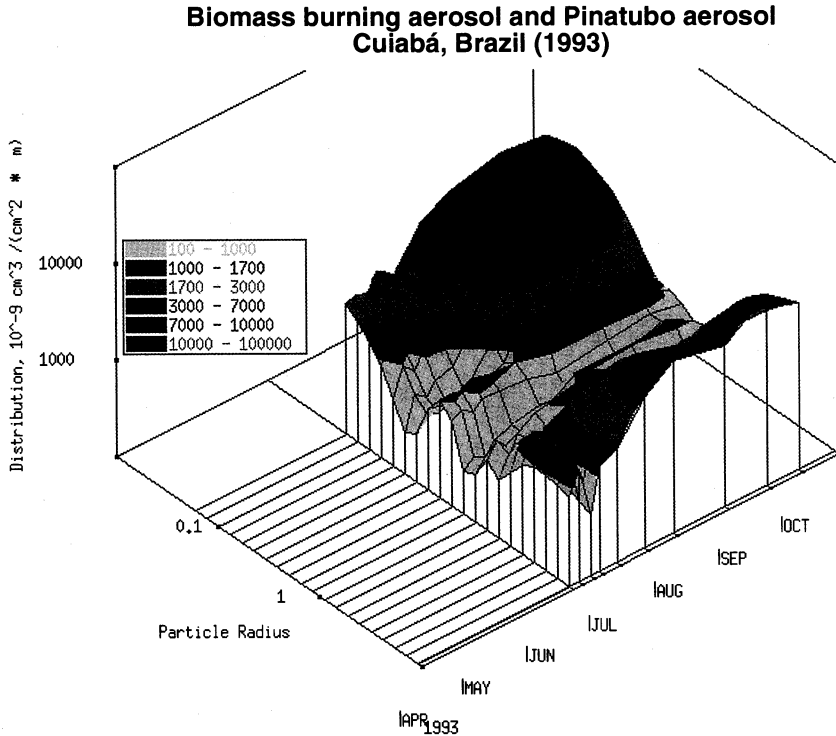
放射収支計から推定された地表面下向き太陽放射量と, スイス工科大学の地表面熱収支データベースであるGEBAが示す観測値との間には, アフリカ等のバイオマス燃焼の盛んな地域で 30 Wm^{-2} から 70 Wm^{-2} にも及ぶ差があることが明らかになった。エアロゾルの吸収を考慮していないERBE型衛星アルゴリズムは, 地表面下向き太陽放射量を過大評価するのである。また, ISCCPの雲統計もエアロゾルの影響を受けているふしがある。すなわち, 陸上雲の検出アルゴリズムを改善すると, バイオマス燃焼の盛んな地域で雲統計に大きな違いが現れるのである。これは, 陸上で煙を雲と判断していたものがアルゴリズムの改善によって解消したためであろうと推測される。

BSRNなどの放射収支観測網の穴は, 中国, アフリカ北部, サウジアラビア, 赤道南アメリカ, アラスカ, ボルネオ, グリーンランド地域にあり, SRB, BSRNプロジェクトではこれらの穴を埋める努力をするべきであろう。

TRMM衛星とEOS-AM1衛星に搭載される予定の次世代放射収支計であるCERESに関するNASAのプロジェクトでは, 地域観測計画CAGEX (CERES/ARM/GEWEX experiment) を行なっている。場所はARMサイトと同じである。会合では, CAGEXによる検証データと理論計算値との比較が発表された。地表面下向き赤外放射フラックスにおける差は 1 Wm^{-2} 以下である。CAGEXとSRBの比較では, 晴天長波放射は 3 Wm^{-2} 程度のバイアス, 短波は3-5%程度のバイアスがあった。BSRN長波では 30 Wm^{-2} 程度の違いがある。これらの差の原因のひとつは, スキン地表温度の評価にあるものと思われる。このような問題意識に基づき, 現在, SRB (実際にはCERES) プロジェクトでは, ISCCP スキン地表温度と実地表温度を使って地表面の射出率マップを作っている。これまでのSRBアルゴリズムでは地表面の射出率を1としているので, 今後, 赤外地表面放射収支の評価は改善される見通しである。

6. エアロゾル

米国におけるエアロゾル関連の観測は, SCAR-A (1993), SCAR-C (1994), SPAR-B (1995), TARFOX (1996) が挙げられる。NASAの行なう人工衛星によるエアロゾル観測には, SAGE II, TOMS などがあるが, 将来センサーとしてEOS-AM1に搭載されるMODISとMISRが期待されている。MODISは36



第2図 スカイラジオメーターによって得られたブラジルにおけるエアロゾルの粒径分布の例。縦軸には単位対数粒径当たりのエアロゾルの体積を取る。横軸は、時間と粒子半径（ミクロン）である。乾期には生物起源燃焼の小粒子と大粒子が卓越するのが見られる。また、0.8ミクロン付近にピークを持つピナツボ火山起源の成層圏エアロゾルが時間とともに消失してゆく様子が見られる (Holben *et al.*, 1996)。

チャンネルの中規模分解能可視・赤外放射計, MISR は衛星の進行方向に沿って多角度の放射輝度を得る放射計である。これらの新型の放射計によってエアロゾルの検知能力は増大すると期待される。その意味では、日本の ADEOS 衛星に搭載された TOMS, 偏光放射計である POLDER, 及び感度の良い海色放射計である OCTS は、これらの将来型センサーの長所を既に具現しており、これらの放射計から得られるデータを同時解析することによって、新たな精度の高いエアロゾルマップを作成できるものと期待される。

スペースシャトルに搭載されたライダーによる観測 (LITE, 1994) では、アフリカにおけるバイオマス燃焼から生成される顕著なエアロゾル層が見いだされた。また、LITE 観測では、一次散乱近似に比べてずっと光学的に深い雲層からのライダーエコーが受信され、多重散乱の重要性が再認識された。

従来、エアロゾルによる大気混濁度を測定する目

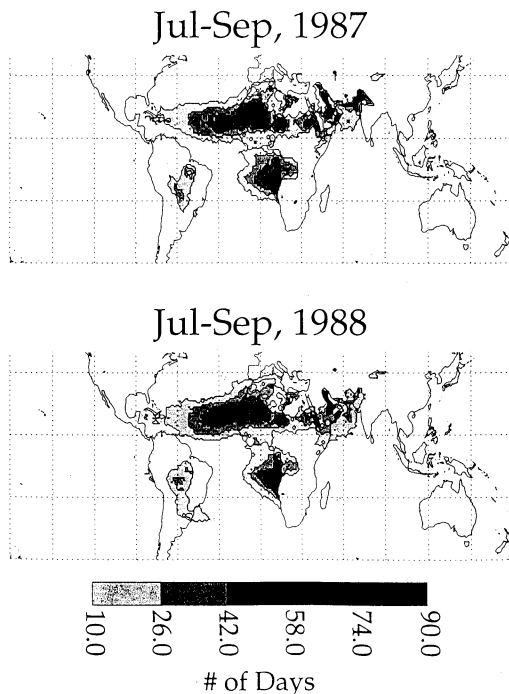
的から、サンフォトメーターと言う波長別直達日射計が WMO の BaPMon (現在の GAW, Global Atmospheric Watch ネットワーク) によって全球展開されてきたが、放射計の検定などの問題から、気候研究に役立つデータが十分に取得できるとは言い難い。最近、これらの欠点を解消することができるスカイラジオメーターのネットワークが注目を浴び始めた。スカイラジオメーターとは、天空の輝度分布からインバージョンによって第2図に示すようなエアロゾルの粒径分布や散乱位相関数を推定することのできる波長別放射計である (Nakajima *et al.*, 1996)。NASA では、MODIS ミッションの検証のために南北アメリカ大陸とヨーロッパ大陸を中心に AERONET と言うスカイラジオメーターのネットワークを展開し始めた (Holben *et al.*, 1996)。日本でも NASDA がアジア地区のネットワークを作成しようとしている。このような現状を受けて AERONET 委員会が発足し、観測のプロ

トコル、システム、書式などについての勧告がまとめられ始めた。これらの気候研究に重要な放射データの収集は METEOSAT や GOES のデータコレクションシステムによって行われているが、GMS では気象庁の規定によって放射量のみデータコレクションはできない。

エアロゾルの直接放射強制力に関して、単位硫酸塩当たりの規格化放射強制力が、 -400 Wg^{-1} (Kiehl and Briegleb, 1993) や -700 Wg^{-1} (Charlson *et al.*, 1992) というように評価によって大きく違うことが指摘された。今後、モデルの比較などを通して GEWEX でもこれを評価する必要があると思われる。

WCRP や IGAC (International Global Atmospheric Chemistry Project) といった国際共同研究組織の中でもエアロゾルの認識が高まっている。例えば、CLIVAR の中にはゆっくりと変動する気候強制力について研究する CLIVAR. ACC があり、ここには温室効果ガスや人間起源エアロゾルによる気候影響を範疇にいた研究活動が当然含まれるべきであるという見解になりつつある。また、IGAC では IGAC/FAA (A New Focus on Atmospheric Aerosol) が発足した。ここでは、放射強制力の推定、気柱完結型の観測などの推進が行なわれている。このような状況の中で、GRP でもエアロゾルパネルを作成することを勧告することになった。ここでは、エアロゾルの気候と放射影響を知る上で重要なエアロゾルの物理的特性の気候を作る。全球、季節変化が分かるものが必要である。これらは地上と衛星観測の総合的な解析によって得られる。

エアロゾルリモートセンシングワークショップ (1996年4月15-19日、ワシントン DC) が開かれた。自然起源のエアロゾルの太陽放射強制力は大規模なスケールでも -10 Wm^{-2} にも及ぶ。MODIS, MISR, OCTS, MERIS, GLI (Global Imager) などの将来型の衛星センサーや従来の AVHRR, CZCS などのセンサーを利用した多波長、多角度、多地表面反射を利用した手法が提案され、そのような手法によって、いろいろなエアロゾルパラメーターが得られることが分かった。陸上エアロゾルは検知が難しいが、AERONET とダークターゲット上の AVHRR から得られたエアロゾルの光学的厚さの良い比較が示された。また、TOMS などの近紫外波長を利用した陸上エアロゾルの導出が有望であることが明らかになった。第3図に NASA の TOMS グループが行ったエアロゾル層



第3図 TOMS 放射計によって推定されたエアロゾルの出現日数の全球マップ。(Herman, 1996)

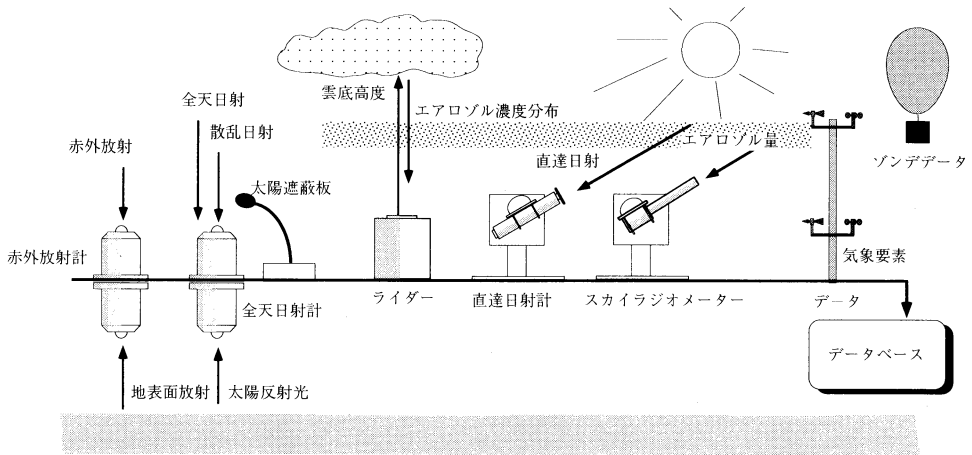
の出現頻度に関する全球マップを示す (Herman, 1996)。このようなリモートセンシングの際に問題になるのが、エアロゾルの光吸収と非球形散乱であるが、そのモデル化の努力も行われている。

7. 局地実験

科学技術庁の「雲とその気候影響に関する研究」(JACCS) は昨年春の見直しを受けて後半の5年に入った。毎年、5~6月に筑波において様々な放射計を利用した巻雲観測が行なわれている。航空機観測も日本付近で毎年、1~2週間ほど行なわれている。1997年は鹿児島で行なう予定である。

GEWEX/GAME の放射プロジェクトは高精度放射観測サイトの設置と、アジア地区の放射データの収集を計画している。1997年5月までにタイ Si Samrong (17.17N, 99.87E) 及び中国 Shou-Xian (32.55N, 116.78E) サイトが開設される予定である。また、中国側の BSRN サイトである Wudaoliang (35.22N, 93.08E) や GAW (Global Atmospheric Watch) サイトである Waliguan との共同観測を模索している。GAME サイトでは、第4図に示すように上下の全天短波および長

自動放射収支観測システム



第4図 GAMEにおける高精度放射ステーション。上下半球方向からの太陽放射や赤外放射フラックス、太陽直達放射、全天輝度などが高精度で測定される。また、ライダーやゾンデにより放射量に影響を与えるエアロゾルや雲の情報を得る。

波放射計と直達短波放射計を設置する予定である。特に、全天短波放射計はBSRNの基準に合うように太陽追尾装置の上に取り付けて直達光を遮蔽して、散乱光フラックスを測定する予定である。測器の選定は、昨年2月から東北大学で行なわれた比較観測結果をもとに10月に決定された。

ヨーロッパのEUCREXは1996年以降の予算措置が無いまま、事実上終了した。今後は、既存のデータ解析を主眼にしたEUCREX-IIIや衛星解析に力点を置いたEUCRASATが計画されている。また、赤道域の巻雲実験やGEWEX/BALTEXなどが計画されている。米国における局地実験は、SCAR-B(アマゾン)、1996年春にカンサス(ARM CARTサイトを含む)で行なわれたSUCCESS(Subsonic Aircraft Control and Cloud Effects Special Study-FIRE III)、1996年6月にワロップス沖で行なわれたTARFOXがある。TARFOXではDC10に搭載された航空機用雲レーダーが始めて実験された。CLEX-1(Cloud-Layer-Experiment, 1996年6月)では、降水を伴う雲の形状の放射効果を調べた。このように雲・降水系の研究では、高周波レーダーの投入によって、雨を降らせる雲自体を見ることができるようになってきている。

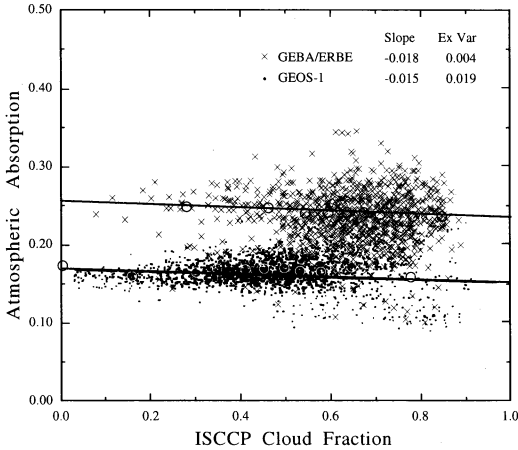
極域にもおもしろい問題がある。ACSYSなどで取り扱おうとしている極域での放射効果に関する研究には、高いアルベド、温度インバージョン(10度におよ

ぶ)で特徴付けられた海水の安定性などの重要な問題がある。このような問題を扱う場合には、特に水蒸気のリターン帯(18ミクロン帯)が温度の低下とともに開く効果が重要であるが、いままでの力学用の放射コードの多くはこれをうまく扱えない場合があることが指摘された。この問題に関しては、150-300 GHzチャンネルの放射計による降水の推定が重要である。

8. ARM (Atmospheric Radiation Measurement Program) 関連

DOE (Department of Energy) のARM関連では、SW(短波放射に関する測器とサイエンス)、UAV(無人航空機による観測、http://www.arm.gov/~info/iops/uav/uav_home/uav_home.html), ARESE(短波放射特別観測)等のプロジェクトがある。CARTサイトでの水蒸気特別観測が、ゾンデ、2つのラマンライダー、無人飛行機、マイクロウェーブ放射計を用いて計画された(1996年9月)。

このように、ARMでは、1つのサイトに多数のリモートセンシング測器を投入して、1 km四方程度の気柱に関するさまざまなパラメーターを測定することにより、その気柱の放射場の生成メカニズムを詳細に研究しようとする気柱完結型の観測体制を展開している。このような研究によって、1960年代から問題になってきた雲の異常吸収の問題も解けるであろうと期待し



第5図 大気による太陽放射吸収率の雲量に対する依存性。・は衛星データのみを用いて推定したもの、×は衛星データと地表面放射収支の観測を用いて推定したもの。両者の違いが異常吸収量であるが、これは図によると雲量や雲放射強制力に依存しない。(Arking, 1996)

ている。

雲を含む大気による太陽放射の吸収量が理論値で説明できないほど大きい事は、1960年代から指摘されていた(早坂, 1995)。最近ではArking (1996)が、大気の異常吸収が第5図に示すように雲の放射強制力に依存していないことを示して、晴天大気中に異常吸収の原因があるという説を提案している。その候補者にはエアロゾルと水蒸気がある。確かに5節でも示したように、エアロゾルによる吸収は無視できない。しかし一方では、中島(1994)でも示したように、もしCess等が主張しているように、異常吸収によって地上と大気上端での雲の放射強制力の比が1.5になっているとすると(Stephens *et al.*, 1996)、エアロゾル説では具合が悪く、どうも万人を納得させる犯人説は未だに見つかっていないのが現状である。

9. GPCP (<http://www.ncdc.noaa.gov/wdcamet.html>)

2.5×2.5度のSSM/I, GPI(静止衛星), レインゲージの組み合わせデータセットが1987年7月から1994年12月の期間作成された。1995年分は作成中である。1997年中には、AMSU マイクロウェーブ放射計がNOAA衛星に搭載されるのでDMSPと合わせて1日8回のマイクロウェーブ放射計による観測が可能になるので、観測精度の向上が期待される。

このような全球規模の降雨場の研究を通して、いくつかの問題点も指摘されている。衛星リモートセンシングについては、暖かい雨の検知が一つの課題になっている。ECMWFの再客観解析データを衛星データと比較してみると、客観解析では、日本の南のストームトラックが良く再現されていない。SPCZもうまくいっていない。全球的に、湿っている所はより湿っているように、乾いている所はより乾いているようにECMWF再解析データではなっている。GVaPによる水蒸気の比較結果でも同様のバイアスがあることは注目すべきである。GPCPの全球降水量に顕著な年変化は無いにもかかわらず、いくつかの既存のデータは顕著な年変化を示す。ECMWFの再解析データはそうになっていないが、経年変化はGPCPよりも大きい。いずれにせよ、降水と水蒸気の時系列と全球分布については、いまだにモデルによる解釈は不十分であると思われる。

10. 放射コードの比較—ICRCCM

ICRCCM (<http://metosrv2.umd.edu/~bobe/icrccm95.pdf>)では1983年から1988年にかけて放射コードの比較を行なった。晴天大気放射のモデルによる差は 20 Wm^{-2} 以下であった。ICRCCM95では赤外放射フラックスのばらつきは2%の領域に入っている。その中ではLine-by-line (LBL)法が最も精度が高い。極域の大気では $300\text{--}500 \text{ cm}^{-1}$ 領域の回転帯の取り扱いが重要である。ウィスコンシン大学のAERI放射計によるSPECTRE観測データの比較解析には23の参加者があった。内訳は、LBL法10モデル、Narrow Band (NB)法13モデルである。いくつかの間違いを修正した結果、水蒸気の赤外回転帯に関する4つのテストケースでは観測値からの差が-5%から+5%の範囲に入った。波長積分の結果フラックスはLBL法で-2から 4 Wm^{-2} 、NB法では-6 to 8 Wm^{-2} 。しかしほとんどのモデルは-2から 2 Wm^{-2} (平均 -0.3 Wm^{-2})にある。

GFDLモデルの新しい放射モデルについて報告された。大気上端晴天太陽放射が主に海上で -5 Wm^{-2} から -10 Wm^{-2} 程度のバイアス(ERBEと比べて)を持つ。海面の取り扱いの問題が指摘された。サハラでも大きなバイアスがある。

11. 衛星関連

地球環境ブームの中で、各国は壮大な地球環境監視

衛星システムを1980年代後半から1990年代前半にかけて提案してきた。しかし、その実現には経済的な困難が伴い、最近では多くの規模縮小が行なわれつつある。

ヨーロッパの気象衛星担当機関の EUMESAT では、METEOSAT の第2世代への移行計画として、12チャンネル、空間分解能 3 km、15分のデータサンプリングを実現する可視・赤外イメージャーの開発が行なわれている。また次世代 METEOSAT には GERB と呼ばれる実験用気候ペイロードを有して、より柔軟な運用を図る予定である。NOAA のようなオペレーショナルな極軌道衛星を目指す EUMESAT Polar System は、Advanced IR sounder (IASI, GRAS) や Global 1 km imagery (AVHRR), Climate payload を有する。残念ながら、マイクロウェーブセンサーの MIMR は経済的な理由で EUMESAT の搭載センサーから除外された。従って、NOAA や DMSP を除いて、次世代マイクロウェーブセンサーは日本の AMSR だけになってしまった。将来型のプロジェクトとして、ESA では21世紀初頭に NASDA/ATMOS-B1 に似た雲ライダーとミーライダーを利用した、雲とエアロゾルミッションを計画している。

放射収支衛星の重要性が認識されてきて、全球をカバーする努力が進んでいる。ScaRab/Model-1 は1994年2月から1995年3月までデータを送信して停止してしましたが、そのデータ解析が進んでいる。ERBE/WFOV (非走査広視野放射収支計) との違いは 10 Wm^{-2} 以下であった。現在、モデル2の打ち上げがロシアによって97年春に計画されている。米国の CERES は TRMM と EOS プラットフォームに搭載されて、全球をカバーする予定である。次世代 METEOSAT 計画の一環には、静止衛星に搭載する放射収支計 GERB (Geostational ERB) が計画されている。このような計画は我が国の地球環境観測委員会の将来構想でも提案されている。

中国では、極軌道 FY-1 は A から D シリーズまで打ち上げられたが、現在は運用しているものは無い。静止衛星の FY-2 は地上試験で深刻なダメージを受けたために延期されている。衛星データの国際的利用が進む中で、中国からの出席者が、FY-2 が成功すればそのデータは ISCCP 等で利用されるであろうことを表明したのは朗報である。

宇宙開発事業団の ADEOS が1996年8月に打ち上げられた。この衛星には、OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner), AVNIR (Advanced Visible

and Near-Infrared Radiometer), IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse Gases; 温室効果気体センサ), ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer; 改良型大気周縁赤外分光計), RIS (Retroreflection In Space), TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), NSCAT (NASA SCATterometer; NASA 散乱計), POLDER (Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances) が搭載されており、各機器は順調に作動している。現在、各センサーの初期チェックアウト作業と検証実験計画が進んでいる。例えば、OCTS プロジェクトでは、大学、水産庁等による海色検証実験に加えて、JPL が所有する224チャンネルの航空機搭載型可視・近赤外放射計である AVIRIS を利用する校正計画が進んでいる。また、スクリプス海洋研究所と共同で、CalCoFi 海域実験 (30N-35N, 117W-124W) が継続中である。同時に、OCTS のためのスカイラジオメーターのネットワーク作りが進んでいる。日本のサイトは、新潟 (37.9N, 139.0E, 1994年4月から)、筑波 (36.0N, 140.0E, 1995年7月から)、沖縄 (26.9N, 128.3E, 1996年3月から) である。国際サイトは GAME の高精度放射サイトと同じ中国、Shou-Xian とタイ、Si Samrong である。従って、これらの国際サイトおよび筑波サイトでは、放射収支観測用の放射計とスカイラジオメーターを同時に有するようになる。また、文部省の重点領域研究「衛星計測」では、マイクロパルスライダーをこれらのサイトに投入する予定である。これによって、エアロゾルと雲が放射収支にどのように影響するかを調べることができる。また、GAME 観測域において、TRMM ミッションのためにゾンデ観測とレーザー観測が計画されている。このように、衛星ミッションの実現に伴って、付随する多くの科学研究が国際共同研究規模で活性化され始めたと言えるであろう。

将来に目を向けてみると、日本が国際的に貢献できるミッションの提案が相次いでいるのが頼もしい。ADEOS の後継機である ADEOS2 (1999年2月打ち上げ予定) には GLI, AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer; 高性能マイクロ波放射計), ILAS2, POLDER, SeaWinds (海上風観測装置) が搭載されることになるが、そのサイエンスシナリオの確立とアルゴリズム作りが現在、順調に進んでいる。また、世界初とも言えるミーライダーを搭載した実験衛星が2000年前後に打ち上げられる。さらに、2000年代中期には、ATMOS-A1, B1, C1 と呼ばれるレーザー

搭載の降雨実験ミッション、雲レーダーとライダーを搭載した雲・放射3次元ミッション、高分解能分光器を搭載した大気化学ミッションの計画が議論されつつある。

12. 結論

見てきたように、気候研究にとって目の離せない多くの放射関連研究が、他の分野と協力しながら進んでいる。その中で日本の役割は大きくなる一方である。相変わらず、日本のベビーブーマー研究者は、世界中のゴージャスなホテルや慎ましい大学の教室での会合に飛び歩いている。私もこの原稿を、スクリプス海洋研究所とのOCTS共同検証実験のための渡米中の飛行機の中で書いている。先日は、ADEOS打ち上げ直後に、OCTS関係のF先生が成田の電話から、OCTSチームにメールで状況を問い合わせてきた。空港から電子メールとは、忙しくなったものである。ただ、少し安心なのは、日本の中でもやっと若い世代が次世代を担うべく成長し始めたことであろう。大学院大学化に伴い大学院の学生が増えたし、地球フロンティアなどの新しいプログラムがこれらの若い研究者のための良きプレイグラウンドになろうとしている。がんばれ、若者諸君である。たぶん、ホテルにつけば、留守中に仕事をしている学生さんからのメールが届いているだろう。

参考文献

Arking, A., 1996: Absorption of solar energy in the atmosphere: discrepancy between model and observations, *science*, **273**, 779-782.

Charlson, R. J., S. E. Schwartz, J. M. Hales, R. D. Cess, J. A. Coakley, Jr., J. E. Hansen and D. J. Hofmann, 1992: Climate forcing by anthropogenic aerosols, *Science*, **255**, 423-430.

早坂忠裕, 1995: 大気は太陽放射をどれだけ吸収するのか?, *天気*, **42**, 41-49.

Herman, J., 1996: Aerosol remote sensing by TOMS sensor. Private communication.

Holben, B. N., T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanré, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. J. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue and I. Jankowski, Multi-band automatic sun and sky scanning radiometer system for measurements of aerosols, *Rem. Sens. Environ.*, in press, 1996.

Kiehl, J. T. and B. P. Briegleb, 1993: A new parameterization of the absorptance due to the 15-mm band system of carbon dioxide, *J. Geophys. Res.*, **98**, 9013-9019.

中島映至, 1994: 放射と気候のこと—第8回大気放射コンファランスに参加して—, *天気*, **41**, 399-408.

Nakajima, T., G. Tonna, R. Rao, Y. Kaufman and B. Holben, 1996: Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions, *Appl. Opt.*, **35**, 2672-2686.

Randel, D. L., T. H. Vonder Haar, M. A. Ringerud, G. L. Stephens, T. J. Greenwald and C. L. Combs, 1996: A new global water vapor dataset, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1233-1246.

Stephens, G. L., P. Pilewskie and F. P. J. Valero, 1996: How Much Solar Radiation Do Clouds Absorb? *Science*, **271**, 1131-1134 (Comment and Response).