

GEWEX Radiation Panel 会議報告*

早坂 忠裕**・井口 俊夫***

1. GEWEX Radiation Panel

WCRP/GEWEX には、その下部組織として放射 (GEWEX Radiation Panel : 略称 GRP), モデル (GEWEX Modeling Processes Panel : GMPP), 水文気象 (GEWEX Hydrometeorology Panel : GHP) の各委員会があり、その中で、GRP には、日本から早坂 (2001 年から) および井口 (2002 年から) が委員になっている。任期は 4 年である。今の体制になって最初の会合 (通算で第 12 回) が 2001 年 11 月 12~14 日にアメリカ・コロラド州・フォートコリンズにおいて開かれ、第 13 回会合が 2002 年 7 月 31 日~8 月 2 日にスイス・チューリヒのスイス連邦工科大学 (ETH) で開かれた。少し間があいてしまった感もあるが、この委員会の活動の紹介も兼ねて、まとめて簡単に報告する。

GRP の委員長は、コロラド州立大学の G. L. Stephens から NASA ゴダード宇宙科学研究所 (GISS) の W. B. Rossow に引き継がれ、2001 年から 4 年間活動することになった。GRP での最大の問題は、衛星データを中心にグローバルなエネルギーと水の循環を考えようということである。当初、Rossow はこの委員会を“GEWEX Flux Panel”という名前にしたかったようである。それは、GRP が単に放射エネルギーのことを扱うのではなく、衛星データ解析に基づき、様々な形態のエネルギーフラックスについて、そのグローバル分布と変動を明らかにしたいという目標を掲げたからである。GEWEX といえば GAME に代表されるよう

に、大陸スケールでの水・エネルギー循環の解明というイメージが強い。観測は経費が嵩むので研究者達も研究の実施前から大々的に活動するし、現場での観測、データの解析、結果の報告というやり方は一般社会にとっても極めて分かりやすい。しかしながら、GEWEX 本来の目的に沿ってグローバルスケールのことを誰が考えるのか、ということが問題になる。GRP は名目上は「放射」という名前になっているが、対象とする事項は後で紹介するように、放射収支エネルギー、エネルギーや水のフラックスが絡む気候変動現象、衛星リモートセンシングの 3 つに整理することができ、単に放射だけでなく、グローバルスケールでの水、エネルギー循環を考える場になっている。

2. GEWEX における GRP の目標

第 12 回会合で International GEWEX Project Office (IGPO) の P. Try から示された案によると、GRP で議論すべきことは、(1) 長期間 (20 年) のデータセットの取りまとめ、(2) GEWEX データセットを活かした研究の立ち上げ、(3) 個々の研究における新しい衛星システムの利用、(4) 気候への様々な強制力とそのフィードバックの理解へ向けた研究の進展、である。これらを踏まえ、GRP としては特に Coordinated Enhanced Observing Period (CEOP) 等 GEWEX 関係のプロジェクトに貢献できるようなデータセットを開発したり、GRP と CEOP、及び GHP との協力関係を強化する必要があるという議論がなされた。

また、前委員長の Stephens から示されたものは、(5) モデルグループと連携を図り、グローバルデータセットの開発に貢献すること、(6) 気候変動研究に必

* GEWEX Radiation Panel Report.

** HAYASAKA, Tadahiro, 総合地球環境学研究所.

*** IGUCHI, Toshio, 通信総合研究所.

© 2003 日本気象学会

要な長期間グローバルデータの収集の継続を関係各機関に働きかけること、(7) 気候システムにおける放射関係の研究において、データの収集とともに関連する分野との連携を図ること、(8) 次のような目標で大気上端及び地表での放射収支を決められるよう努力し、放射収支の変動を理解することである。

- ・毎日の天気予報をサポートするために2000年までに $\Delta F \sim 20 \text{ W/m}^2$ で評価。
- ・ENSO のような気候変動予測をサポートするために2005年までに $F \sim 15 \text{ W/m}^2$ で評価。
- ・気候変動予測をサポートするために2010年までに $\Delta F \sim 5 \text{ W/m}^2$ で評価。

また、第13回の会合はチューリヒにある ETH で開催された。ETH には WMO のプログラムの1つである Baseline Surface Radiation Network (BSRN) の代表者の大村 纂教授がおられることもあり、今回の会合の目的の1つは、衛星データから推定する Surface Radiation Budget (SRB) プロジェクトと BSRN の包括的レビューを行うことである。その他に、放射と気候変動に関する研究の現状と将来に関するレビュー、特に放射強制力とフィードバックに関すること、水蒸気関係の活動計画、GEWEX のモデル・予測グループに対する GRP の貢献を議論すること、Advanced Remote Sensing 等について議論があった。

3. GRP と各国各機関の関係

昨年、今年の会合を通じて WCRP/GEWEX の目的に関連して各国の宇宙関係機関が様々な研究開発を進めていることが報告された。また、特に Operational Satellites は GEWEX の長期間のデータ収集において極めて重要であるという議論があった。

第12回の会合では、NOAA の A. Gruber から NOAA 関係の衛星の報告があった。現在運用されているのは NOAA-16, GOES-8, および GOES-10 である。また、2001年7月に GOES-12が打ち上げられた。また、ESA/EUMETSAT の第一の目標として、気候監視や気候変動の検出を考えている旨が報告された。また、GRP に対してもっと EUMETSAT の研究開発を支援してほしいと考えているようである。

第13回の会合では早坂が GMS や NASDA の地球観測衛星に関する簡単なレビューを行い、特に ADEOS-2 の GLI 関係の研究や地上検証がらみの研究の現状を報告した。また、井口が3日目に Advanced Remote Sensing という題名で TRMM 関係の話をし

た。

GRP では、NASA はもちろんのこと、NOAA, Canadian Space Agency, NASDA, ESA/EUMETSAT 等各国の衛星関係機関ともしっかりコミュニケーションを取るべきであるということが議論された。

4. GRP 支援によるグローバルデータマネジメント

WCRP は概ね成功しているが、さらに、すべての研究プログラムは長期間の総合的観測を望んでいる。現在までに、International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP), Global Aerosol Climatology Project (GACP), SRB のデータセットは約20年間の期間をカバーしつつある。他の GRP データとして Global Precipitation Climatology Project (GPCP), Global Water Vapor Project (GVAP) はマイクロ波データの制約により、カバーしているのは約14年間である。現在のところ、衛星や地上観測データの解析方針は変更予定はないので、ISCCP をはじめとする各プロジェクトは現状のままで推進されることになる。また、GEWEX Science Steering Group (SSG) や WCRP Joint Science Committee は、各国の宇宙関係機関に21世紀最初の10年間の GEWEX に特にサポートするよう要請すべきであるという議論があった。

5. GEWEX の各パネル間の協力について

SSG から指摘されているが、GHP, GRP, GMPP の3つのパネル間の協力は十分ではないので、強化する必要がある。そこで、GRP 支援の下に GMPP, GHP と協力してデータ収集(観測)チームと解析チーム共同の会議を開いたりすることなどが議論された。具体的には、次のような提案があった。

- (1) SeaFlux Initiative の経験を活かして、GRP, GHP, GMPP が協力して LandFlux プロジェクトを組織する。
- (2) GRP と GMPP が協力して、不均質雲の3次元放射伝達について境界層の雲と地表面とを結合させて研究を進める。

6. 新しい衛星データセットの利用

新時代の地球システム観測衛星(TERRA, TRMM, AQUA, ENVISAT, ADEOS-II, CloudSat, CALIPSO など)からのデータが利用可能になりつつある。また、GEWEX も第2期へ移る段階である。そこで、新

たな視点での地球環境観測やモデルの開発、各種プロセス研究、水資源への応用などに役立つようなフレームワークを作るべきである。

7. 気候システムにおけるフィードバック

この件に関しては、今までに気候における雲・放射フィードバックなどを中心に、ワークショップが開催されてきた。今後の方向としては2つのことが考えられる。1つは、雲・放射フィードバック過程を、より幅広く水とエネルギーの変動の結果生じる気候と雲のフィードバック過程として考えるというもの。もう1つは、問題の複雑性を考えて、観測データやモデルの結果を解析するための新たな手法を開発することである。

8. サブグループの活動状況

GRPには、プロジェクト、あるいはワーキンググループと称して、

(1) BSRN (Baseline Surface Radiation Network, Chair: E. Dutton)

(2) CPROF (Cloud Profiling Working Group, Chair: T. Ackerman)

(3) GACP (Global Aerosol Climatology Project, Chair: M. Mishchenko)

(4) GPCP (Global Precipitation Climatology Project, Chair: A. Gruber)

(5) GVAP (Global Water Vapor Project, Chair: B. Soden)

(6) ICRCCM (InterComparison of Radiation Codes in Climate Models

-Shortwave, Chair: H. Barker,

-Longwave, Chair: R. Ellingson)

(7) I3RC (InterComparison of 3-D Radiation Codes, Chair: R. Cahalan)

(8) ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project, Chair: W. Rossow)

(9) Sea Flux (Sea Surface Fluxes, Chair: J. Curry)

(10) SRB (Surface Radiation Budget project, Chair: P. Stackhouse)

の10のサブグループによる活動が行われている。これらは、必ずしもGRPだけに関係するものではなく、主体はどこかの国の研究機関が中心となって立ち上げたものであったり、国際機関のプログラムの一環として

実施されているものであったりする。たとえば ISCCP は NASA/GISS において Rossow の強力なリーダーシップの下に実施されているし、BSRN は WCRP の枠組みであるが、WMO との連携が強い。以下、それぞれのプロジェクト、ワーキンググループの活動状況について簡単に説明する。

(1) BSRN

現在35箇所からオンラインで、1200箇所からは毎月毎のデータがチューリッヒのETHに集められている。コンピューターとマンパワーの問題からデータベースは2000年に一時的に停止したが、その後再開して運用されている。また、BSRNの活動はデータの収集だけでなく、測器の検定や性能の向上にも力を入れている。また、最近は新たにエアロゾルの光学的厚さの検討やアルビド測定の再検討も行っている。さらにGRPとの議論により、熱赤外放射の精度向上や太陽散乱光の検証も含まれるようになった。

上でも述べたようにチューリッヒでの会合の目的の1つは、SRBの話であった。まず、NOAAのE. Duttonから次のような報告があった。以前から議論されているように、地上での短波放射、長波放射の観測については、もっと精度を上げる必要があり、そのための努力をすべきである。現在のところ、BSRNの観測点は35点からさらに増えつつあるが、アジア、オセアニア地域の観測点は極めて少なく、なんらかの措置が必要である。また、BSRNワーキンググループは、次の7つのトピックについてサブワーキンググループを持ち、活動を行っている。すなわち、① Diffuse Solar WG, ② Thermal IR WG, ③ Direct Solar WG, ④ Albedo WG, ⑤ Aerosol Optical Depth WG, ⑥ UV WG, ⑦ PAR (Photosynthesis Active Radiation) WGである。Diffuse Solar RadiationとThermal IR Radiationは測器そのものや検定方法の改良により、現在では5 W/m²以下の誤差で測定可能であることが報告された。BSRNプログラムが1990年代初めに立ち上げられた時には、その精度は20 W/m²であったことを考えるとかなり改善されている。一方、PARについては各メーカーの測器間の差が依然として大きい。Aerosol Optical Depthに関しては、新しい準器が開発されたことが報告された。

ところで、BSRNのデータはETHでアーカイブされているが、10年前に比べると、データ量や利用者数が膨大な量になったので、最低でもフルタイムで1名増員がないと、現在の運用を維持するのは困難であり、

国際的なフレームワークで何とかならないかという話が大村先生からあり、議論したが WCRP, WMO といった枠組みでは欧米先進諸国はある意味ボランティアとしての参加、活動が期待されているのでこれといった解決策は見出されなかった。

科学的な観点からは、BSRN データは GRP の SRB プロジェクトの検証として使われたり、GCM の計算結果の比較の際に貴重な観測データとして利用されている。また、計算、観測の精度向上により、たとえば夜間の晴天時における比較では $2 \sim 3 \text{ W/m}^2$ という精度で計算値と観測値に比較が行われている。一方で、晴天時の太陽放射の散乱光フラックスや雲がある場合の短波、長波放射については、エアロゾルや雲をどのようにパラメタライズして計算に取り込むのかということがネックになっており、まだ検討の余地が残されている。

(2) CPROF

以前から、GRP の支援の下に大気プロファイルの新しいプロジェクトが議論されている。その内容は、対流圏における雲、降水、水蒸気、エアロゾル等のプロファイルである。コンセプトは、CloudSat プロジェクトサイエンスチームを中心とした専門家による国際ワーキンググループを立ち上げることである。CloudSat のデータの利用やアルゴリズムの比較、地上観測や航空機観測データを用いた比較検証等の計画も、このワーキンググループに求められている。

(3) GACP

GACP は NASA Radiation Science と GEWEX によって1998年に作られた。NOAA 衛星 (AVHRR) の可視、近赤外の2波長を用いてエアロゾルの光学的厚さとオングストローム指数を推定する。2002年中に、1981年から2000年までの結果が利用可能になる予定である。今後は陸域のエアロゾル観測及び Stratospheric Processes and their Role in Climate (SPARC) との連携が重要であるとの認識が示された。

(4) GPCP

GPCP は衛星データを中心に地上観測データも使って全球の降水量データを作成するプロジェクトである。現在は2.5度グリッドの月毎および5日毎のデータ、1度グリッドの1日毎のデータがある。ISCCP と GPCP から得られる雲量は一致しないが、GPCP のマイクロ波のデータ解析の際に多波長を用いて解析するようにして、引き続き比較を行うべきであること、また、研究者コミュニティと現業の間の情報交換等を

推進することが期待されていることなどが議論された。今後は、マイクロ波を中心に降雪の推定が重要であるとの認識で一致した。その他、モデルで推定される降水量と観測値の違いについて、引き続き GPCP で議論することが必要である。

(5) GVAP

GVAP の第1期は WCRP の研究者コミュニティにグローバルデータセットを提供することで1997年に終了した。これを受けて、2004年までの第2期が GEWEX SSG によって承認されている。この計画には、Integrated Observing Systems Test (IOST) データセットのリリース、10年間パイロットデータセットのリリース、20年間のデータセットのアクセス、SPARC Water Vapor Assessment Initiative のコーディネート、民間航空機等を利用した Water Vapor Sensing System (WVSS) へのサポート等が含まれている。今までの SPARC Water Vapor Assessment との協力の経験から、赤外分光器やマイクロ波放射計を用いた観測方法のレビューも含めて、対流圏の水蒸気データセットの評価をすることが望ましい。

(6) ICRCCM

以前から、モデルと観測データの比較の必要性が議論されてきたが、第12回の会合では clear-sky condition のときの比較を優先して行うべきという議論がなされた。その実施に向けて ICRCCM の Co-chair である Ellingson と Barker が計画を策定する。全体のフレームワークとしては、clear sky 平行平板状の雲、不均質雲について比較する必要があるが、不均質雲の場合は特に、短波放射の経験を活かして、モンテカルロ法により基準なる値を計算して、1次元モデルの有効性を比較する必要がある。また、氷雲の取り扱いについても検討することが必要である。

(7) I3RC

このプロジェクトは、不均質な雲の放射特性やその計算方法について比較を行うというものである。数年前は光学的厚さをフラクタルで表現する Bounded Cascade Model が主流であったが、その後、より現実的な分布のモデルが作られ、最近では、雲の美物理過程をシミュレーションで再現し、その放射特性も3次元放射伝達で計算するという状況になりつつある。

(8) ISCCP

ISCCP の各種データセットの解析状況が示され、今後国際的なフレームワークでの新たな開発が望ましいという議論がなされた。ISCCP は2002年6月時点で19

年目のデータ収集が完了し、DX、D1、D2データについては1983年7月から2001年9月分まで処理済みである。過去のデータについては、NOAA-7のデータを用いて1981年8月まで拡張する予定である。GMS-5の寿命に伴うISCCPへの影響は今のところ問題なく、MTSAT-1Rが上がるまでGOSE-9が移動してカバーするので、今後も大きな影響はないものと考えられる。

フランスのSatellite Calibration Centerは0.6, 6.7, 11, 12 μ mのチャンネルについて各衛星間の検定を行っているが、6.7 μ mを除いては2002年3月までに比較検定が終了している。

ISCCPに関連した研究としては、中緯度帯の低気圧・高気圧に伴う雲量変動の特徴、雲クラスターの追跡による熱帯におけるメソスケール対流の特徴、水雲と氷雲の雲粒子サイズの気候学的特性、メソスケール解像度での放射フラックスプロファイル、等について重点をおいて進めている。

(9) SRB

SRBでは衛星データから地表での放射収支を推定することが大きな目的であるが、現在は新しい赤外放射コードとISCCP DXデータを用いて100 kmグリッドスケールで解析を行っている。12年間の1985年7月から1995年10月までの結果が揃うのは2002年中の予定だが、2002年7月の時点では、7年分(1986-1990および1992-1993)の解析が3種類のアルゴリズムを用いて行なわれた。一部の結果はCDの形ですでに配付されている。引き続き残りの期間のデータ解析を進める予定である。

これらの結果について、CERES-Surface Atmospheric Radiation BudgetのデータセットやNASA Data Assimilation Office Goddard Earth Observing Systemのデータセットと比較することも重要である。もちろん、BSRNの比較は不可欠である。さらに、1995年から2001年までのデータについては、GACPの結果も考慮したりCERESとの協力も重要である。

地上観測との比較検証については、World Radiation Data Center (WRDC), NOAA/Climate Monitoring and Diagnostic Laboratory, BSRN, および Meteorological Service of Canada のデータを用いて行った。BSRNのデータについて1992年から1993年の比較を行ったところ、バイアスは-1.6~+3.3 W/m²程度、また、RMS 偏差は短波については22 W/m²、長波については18 W/m²という結果が得られ

た。WRDCのデータは世界中の1000か所に及んでいる。各緯度帯ごとや特徴的な地表面ごとの解析は現在進められているところであるが、全般的には、以前の比較検証の結果と比べると、バイアスは小さくなる方向にあるが、標準偏差については、280 km スケールのISCCP C1データを用いた場合の結果からあまり改善されていない。また、現在 TOGA-COARE のデータセットとも比較する作業を進めつつある。

その他、対流性の雲の反射率の最大値を利用した各センサーの検定値の比較の話や、地表面のアルビードや射出率の問題についても報告があった。

(10) SeaFlux

海上における高空間分解能で高精度の各種フラックス(熱、水蒸気、運動量)のグローバルデータは以前から様々なコミュニティの要求があった。1999年8月にGRPがスポンサーとなってワークショップを開き、レビューを行い、その後、SeaFlux ワーキンググループを立ち上げた。これを参考にLandFlux グループの立ち上げが議論された。

9. その他

GRPのサブグループではないが、特に第13回の会合においては、Earth Radiation BudgetsやFuture Radiation Activities, Advanced Remote Sensing等についても議論が為された。

(1) ERB (Earth Radiation Budgets)

ERBについては主にCERESの成果と関連するサイエンス、また長期データの取得に関する議論がなされた。大気上端における放射収支の衛星観測は、1979年のNimbus-7から、走査型あるいは非走査型の違いはあるが継続して行われている。CERESはTRMMに初めて搭載されたが、少しトラブルがあり、継続的な観測はできなかった。しかしながら、現在、TerraとAquaに搭載されたCERESが稼動している。

CERESによる長期間の観測データはないが、今までの観測からも、例えば1998年のエルニーニョのときの熱帯域での放射収支アノマリーを捉えている。すなわち、長波の放射強制力に対する短波の放射強制力の比が、西太平洋では普通は1.1程度であるのがエルニーニョの場合には1.5を超える値になったり、逆に東太平洋では、1.5~2程度であったのが約1.4という値になっている。このことは、SAGE衛星による雲の鉛直分布の変化とよく対応していることも示された。

長期間の長波放射収支変動に関しては、ERBS/NS

の観測値と AVHRR や HIRS のデータから得られる雲、水蒸気等の情報を基に計算した値の比較が示されたが、ERBS の観測値は1990年以降長波放射アノマリーが増加傾向にあるのに対して、AVHRR からの計算値は逆のセンスになっている。HIRS に基づく計算値は中立である。短期間の変動は三者とも類似している。その他、GCM との比較や ISCCP による結果との比較でも ERBS/NonSaner の長期変動は合わないことが示された。

(2) Future Radiation Activities

ここでは早坂が可視、近赤外データを用いた雲の光学的厚さと有効半径の長期解析における問題点を提示し、議論した。AVHRR の10年間の解析からは、検定常数の変化を考慮しても有効半径の値が時間とともに小さくなり、衛星が換わるところで大きなギャップを生じるが、ローカルタイムに対して有効半径の値を見ると、衛星に関係なく同じような値になる。つまり、NOAA 衛星は基本的には太陽同期の極軌道衛星であるが、通過時刻は少しずつドリフトして遅い方へずれる。従って、NOAA-9 も NOAA-11 も衛星の寿命の後半では午後3時～4時ごろの通過時刻になっている。この場合、雲そのものが日変化をしていることが考えられると同時に、太陽高度も変化するので、それによって雲の不均質性による反射特性への影響も関係している可能性があることなどを示した。

また、A. Macke が氷雲と不均質雲の重要性について話題を提供し、雲レーダーやマイクロ波放射計等を組み合わせた観測の重要性を説いていた。

(3) Advanced Remote Sensing

今年のチューリヒの会合では、このセッションが設けられ、主に雲レーダーやライダー等のアクティブセンサーによる観測のことを議論することが期待されているようだった。ここでは井口が TRMM の成果をもとにレーダーとマイクロ波放射計の同時観測の重要性、GPM の計画概要等を紹介した。

10. おわりに

以上、気候変動に関係する放射絡みの科学や衛星観測について、GRP で議論されていることを簡単に紹介した。衛星観測については各国の衛星関係機関の絡みもあり、特に長期計画に関する議論は難しい。アメリカでは開発的要素が強いものは NASA が担当し、定常的な運用は NOAA が行うというように役割がはっきりしている。また、一度決めた仕様は安易に変更することはなく、その結果、ほぼ同じ質で長期間のグローバル連続観測が行われており、気候変動等の研究における有用性が改めて認識された。たとえば LANDSAT は30年、NOAA シリーズの可視赤外センサーも20年以上、ほぼ同じ仕様で運用されている。一方、我が国では、大型地球観測衛星を打ち上げる技術を持つようになったが、技術開発的要素が強く、なかなか科学的成果が得られにくい状況にある。我が国の地球観測衛星に関する長期計画は、大幅な変更を迫られており、いかに長期シナリオを策定するかが問題になっている今日、いろいろと考えさせられる会議でもあった。

なお、GRP のホームページのアドレスは次のとおりである。http://grp.giss.nasa.gov/



一覧表

第2回モンスーンシステム解明のための領域気候数値モデルに関する

ワークショップの開催案内と講演発表募集について.....	50
教官（筑波大学地球科学系）の公募.....	59