

気候研究のための衛星観測システムに関する作業委員会 (JSC/CCCO WGSOS) 第4回会議報告*

村山信彦**

1986年10月20~24日、東京(気象庁)において JSC/CCCO Working Group on Satellite Observing System for Climatic Research (WGSOS) の第4回会議が開催された。WMO/ICSU の JSC (Joint Scientific Committee, 現在 B.J. Mason を議長とし12人のメンバーからなり、日本のメンバーは T. Matsuno) の組織には、現在 2 Steering Group すなわち TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere, CCCO と協同、日本メンバーは A. Sumi) と WOCE (World Ocean Circulation Experiment, CCCO と協同、日本のメンバーは J. Nagata) と、5 Working Group すなわち数値実験 (CAS と協同)、気候研究のための衛星観測システム (CCCO と協同)、地表過程と気候、海水と気候、ISCCP データ管理 (日本のメンバーは A. Kurosaki) がある。また CCCO (Committee on Climatic Change and the Ocean) は UNESCO の下にある IOC (Intergovernmental Ocean Commission) と ICSU の下の SCOR (Scientific Committee on Ocean Research) の協同の組織である。

WGSOS の付託事項は、1) WCRP の種々の実験のための衛星観測要求を概観し、2) 衛星計測、衛星システムおよびデータ処理・解析・検索の手法を系統化し、3) クリティカルな観測技術の開発を促進させ、4) 衛星観測実施に関係する各国および国際計画に照らして WCRP の進捗状況を責任機関に衆知させることである。WGSOS の過去の会議は1983年(第1回英国 Abingdon)、1984年(第2回オーストリア Vienna)、1985年(第3回米国 Madison) で開催されており、V. Suomi を議長とした6~7人のメンバー (V. Suomi, J. Gower, J. Houghton, V. Karpov, S. Tilford, H.

Yates と日本メンバーとして第3回まで K. Naito)、事務局 (WMO/JPS の P. Morel ほか) と数人の招待専門家を加えた会合がもたれる。第1回~3回の会議では WCRP 計画の観点に立って水理サイクル、海洋と氷、放射過程、データ処理計画に関する衛星観測システムが検討され報告書が作成されている。第4回は衛星観測システムの実施状況を概観し、1988~95年の衛星ミッションと将来活動を検討した。今回会議をもって WGSOS は解散した。以下に第4回 WGSOS 会議の概要を述べる。

1. WCRP 計画実施の進捗状況

WCRP 計画は前向きに進んでいるが、静止気象衛星にはギャップが生じている (Insat データと GOES-W) ことと、海洋観測衛星打上げの遅れにより TOGA と WOCE の進捗に支障を来していることが指摘された。

2. 現状の概観

2.1 衛星雲気候計画 (ISCCP)

データ収集の4年目に入り、インド洋を除き各処理センターでの処理が進んでいる。ISCCP データによる現在の研究は、実務用雲抽出アルゴリズムが完成し処理が行なわれている。1) 極地方雪氷帯における雲抽出の困難さを解決するための研究 (1986年ワークショップ、東京極地研)、2) 気候モデル変数とデータセット変数との関係および雲量や光学的厚さのような量の時空平均スキーム選択の基準を決めること (1986年ワークショップ New York) である。

IAMAP 国際放射委員会の ISCCP 計画に対する提案 (1985年) は、1) 地域規模での衛星データと地上ライダーなどの比較によって雲パラメータの有効化と精度の決定、2) 衛星放射輝度から雲物理特性を求めるアルゴリズムの改良、3) 気候モデル結果と比較のため雲のライフサイクルと放射フラックス推定、4) ERBE などの放

* Report on the fourth session of the JSC/CCCO Working Group on Satellite Observing System for Climatic Research (WGSOS)

** Nobuhiko Murayama, 気象衛星センター。

射フラックスの解釈と雲放射フィードバックの理解である。

米国や日本などでは気候モデルの雲パラメタリゼーション改良のため、地域研究 (米国の FIRE 計画 1986~87年, 日本の北西太平洋上の雲分布と放射特性の研究, ヨーロッパ4か国による ICE 計画) を行っている。ISCCP データは多層雲と雲底高度の情報に欠けているので、気候モデルの結果と比較すると雲の高さの情報に差がある。また衛星観測からは放射フラックス発散 (加熱差に相当) がまだえられていない。

ISCCP のデータ収集期間 1983~88 年を2年間延長することと、1989年半ばに研究結果と将来の見通しを評価するよう勧告された。

2.2 全球降水気候計画 (GPCP)

WCRP 要求値は、海陸とも $250 \times 250 \text{ km}^2$ の月降水量を $\pm 1 \text{ cm}$ の精度で求めることである。これは陸では満されるが海については衛星観測法の開発が必要である。そのために静止衛星の赤外、極軌道衛星のマイクロ波 (SSM/I データなど)、パイ・船舶・沿岸降水データの収集、地上データ交換を進め (GPCP データ管理ワーキンググループが 1986 年ワシントンで開催)、海上降水測定法を開発 (沿岸レーダ、音波法、船上測定) する。TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission; 赤道軌道のレーダ搭載衛星, NASA) と Best (フランスの熱帯システムエネルギー収支) 計画の新センサ開発を最優先に進める。TOPEX/POSEIDON の2周波レーダ高を降度計水強度が測れるように改良し、海上大気のレーダ後方散乱を2波長で測定するよう勧告した。(注: TOPEX は NASA の Ocean Topography Experiment 1989年, POSEIDON はフランスの 1989 年の計画の協同計画で、共に海洋循環を観測目的として、レーダ高度計、マイクロ波放射計およびサウンダと精密位置決定システムを搭載。)

2.3 静止衛星の風

WCRP で、低層・上層とも熱帯 ($20^\circ\text{N} \sim 20^\circ\text{S}$) において、 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ の区域 (熱帯以外で $5^\circ \times 5^\circ$) の面積に1日少なくとも1個ずつ風のデータを算出する要求があるので風ベクトル抽出法を改良して算出数を増加することを重ねて勧告した。ゾンデの風との比較で上層の強い西風域で衛星の風の方が過小評価される傾向がある。GMS や METEOSAT の風算出によって、対画像の時間間隔短縮によって質も量も向上すること、水蒸気画像のマンマシソ交流法での風の場の算出ができることが分

かった。これらの成果をできるだけ早い機会に実務ベースに乗せるよう勧告された。最後に $20^\circ\text{N} \sim 20^\circ\text{S}$ の熱帯の風算出が最優先にとり上げられるべきであると強調した。

2.4 全球海面水温 (SST)

米国の気候解析センタ (CAC) の全球 SST データセンタでは、1985 年から全球の $2^\circ \times 2^\circ$ グリッドにおける月平均 SST 値と偏差場を作成している。これには船舶パイ観測を優先し、衛星観測を補間に使っている。1) 衛星 SST の改良として、ATSR (along track scanning radiometer, ERS-1 搭載 1990 年 打上げ, 精密な水蒸気吸収補正ができる) と AMSU (advanced microwave sounding unit; 1990 年末以降の NOAA-NEXT に搭載) によって、熱帯のより正確な SST がえられること、2) 衛星 SST の校正のための漂流パイを展開すること、3) イメージングデータとサウンディングデータの組合せによってより正確な算出ができることを示した。

2.5 地上風応力 (マイクロ波散乱計の開発)

NASA の NROSS (Navy's Remote Ocean Satellite System, 1990年 打上) には 13.5 GHz レーダ高度計、4チャンネルの SSM/I (Special Sensor Microwave Imager)、2チャンネル LFM (Low Frequency Microwave Radiometer) と NSCAT (マイクロ波散乱計) が搭載される。NSCAT (14 GHz, 6本アンテナ) で海面風応力を測り、波浪、風成海流、気海間の運動量と熱フラックスの推算に役立つ。データは JPL にある NODS (NASA 海洋データシステム) から入手できることになる。

ESA の ERS-1 (European Remote Sensing Satellite, 1990年) は風散乱計、レーダ高度計、SAR (合成開口レーダ)、ATSR (赤外)、マイクロ波サウンダと PRARE (Precise Range and Range Rate Experiment, 精密な観測点位置の決定ができる) を搭載し、風の場合、波の場を観測し、高分解能全天候型の氷冠、沿岸画像取得ができる。これらの観測データの有効利用と校正処理を充分実施することが強調された。

2.6 放射フラックス

ERBE (地球放射収支実験) 衛星のデータは WCRP のために本質的に必要なものとなった。そこで ERBE 衛星ミッションは2,3年後に終了することになっているが、その後の継続が望まれる。大気頂と地上の両方の放射収支の情報が必要である。地上放射収支 (SRB) は ISCCP の B3 データを使って求められる (気候応用の

ための SRB ワークショップ, 1985年 Columbia). TOGA 要求を照合し, 熱帯海洋の日射の推算が最優先である. NASA は SRB 衛星データ解析センタを設立すると提案している. JSC は WCRP のための放射フラックスワーキンググループを設立し, 1987年春報告がなされる. NASA 本部に WCRP 放射計画室 (WRPO) が設立され, 国内外の計画と協定を所掌している.

2.7 表面フラックス

大気海洋境界層結合研究の重要性がとり上げられたが, WCRP の一計画にするには時期尚早である. 大気循環モデルによる天気予報の過程での気象観測解析に基づく方法で, 運動量・エネルギー・水の気海界面フラックスの推算ができるという結論になっている. 大きな空間規模で気海界面フラックスを独立に直接的に測ることができれば, 有効どころかかけがえのないものになる. 海洋境界層の熱的乱流特性の系統的な観測は, 他の測定との比較のための海洋トルスデータとなる. パイロット研究の実行提案が求められているが WGSOS としてはコメントするのは早すぎる.

2.8 レーダ高度計計画の現状

海洋大循環と変動, 水平熱フラックス測定計画として, TOPEX/POSEIDON は 1987年着手され, 全球の海面高度を 1~3 cm 精度で測る. 2周波レーダ高度計 (13.6 GHz と 5.3 GHz) と水蒸気補正用のマイクロ波放射計 (18, 21, 37 GHz) と精密高度測定に必須の精密な軌道決定用装置が搭載される.

3. 1989~95年の衛星ミッション

MOS-1(1987年, 日本), ERS-1(1989~90年, ESA), NROSS (1990年, 米国), TOPEX (1991年, 米国), JERS-1 (1991年, 日本) など, この期間に打上げまたは運用が予定される地球観測衛星と搭載センサのレビューがなされた.

4. 将来活動

4.1 FGGE データの再処理

改良 TOVS アルゴリズムを使えば, 正確な鉛直分布, 表面特性, 雲頂高度がえられるし, FGGE 期間の狭バンド輝度データに ISCCP 雲抽出アルゴリズムを適用すれば, ISCCP 全球データの期間を伸ばすことができる. この問題は1987年末に評価を行って決める.

4.2 静止気象衛星の進歩

GOES-4 の VAS によって各規模の大気構造の変化を

観測でき, 大気構造の日変化から地表過程変動度が推定できる. 赤外サウンディングは雲の存在の制約があるからマイクロ波サウンディングがよいが, 3軸安定衛星と大アンテナ (2~10 m 直径) が必要であり, 次世代の GOES は両方の組合せになろう. 新しいデータは数値予報モデルに必要な全球解析に使われると共に陸地表面過程パラメータ化の研究のためのデータベースになる. すなわち下から気柱に加えられた熱と水分の量を大気鉛直構造の日変化から推定する. METEOSAT-NEXT (1995年から) はマイクロ波放射計で気温と水蒸気の鉛直分布を測る (100~200 GHz の 12チャンネル, 直下点分解能 50 km).

4.3 1995年以降の観測の継続

1) 大循環モデルと解析のための精度と信頼性向上, 2) TOGA と WOCE のための1990~95年の海洋衛星観測, 3) 大気海洋結合モデルについて検討した. 人間活動の気候への影響の予測の不確かさを減らすには, 全球観測, 解析モデルが一層進歩する必要があるが, これは 1995~2000 年に発展するだろう. このために 1) 高品質の大気観測 (気温, 湿度, 風), 2) 1995年以降も海洋衛星観測を続ける (1995年には結合モデルが開発中で SST, 風応力, 海面凹凸データが必要), 3) 雲放射フィードバック効果の観測は1995年まで解決しそうにない. 3次元雲情報は走査型ライダーを極軌道衛星に搭載してえられる. ERBEの結果から放射収支測器の協同観測が必須である. 4) 降水, 地表パラメータ (熱・水蒸気交換に関連した土壌水分など) の観測が必要であり, ライダー観測による境界層情報も重要である. 5) 熱帯の対流系の観測が必要で, 宇宙ステーション搭載のマイクロ波測器で行われる. 6) 気候変動を知るための特別観測を行う. 10~20年の時間は変化が小さく検出がむずかしいが, SST, 氷原面積, 平均気温鉛直分布の測定が候補にあげられている. 7) 測器の性能と精度の評価が重要である.

国際宇宙ステーション計画に関する考察をした. 1995年よりも宇宙ステーションの実施が遅れる場合を考え, 予めそれを予測した計画が要請される. 宇宙ステーション計画の中でも polar platform を優先することが必要だろう. ギャップが生じたとき小型プラットフォーム例えば ESA の EURECA も考えるべきである. 注: EURECA (European Retrieval Carrier; シャトルから 500 km 高度まで打上げ, 天文観測などを行い数か月後シャトル高度 (約 300 km) へ下り回収される衛星で,

ESA の無人プラットフォーム計画。

4.4 全球エネルギー水サイクル実験 (GEWAC)

WCRP のストリーム1は WWW の地上観測と衛星観測からなる現存の全球観測システムによって進められて来ているが、その完遂のためにはもっと正確で多方面にわたる大気熱力学と陸面過程の情報が必要であるので、GEWAC 計画を提案する。GEWAC は地球系のエネルギー入力損失を制御する過程と系内のエネルギーと水の交換を理解し、全球エネルギー水収支予測の開発のため放射・熱・水のフラックスを測り、それらの気候パラメータへの依存度を定めることを目的とする。GEWAC の目的遂行のための科学技術の進歩は、長期予報と気候予測のための実務観測システムを数歩も前進させるだろう。GEWAC はポーラープラットフォーム (1995~2000年) のような種々の新技術に焦点を当てて地球系観測を著しく進歩させる。また WOCE を支援し、ICSU の国際地圏生物圏計画 (IGBP) の第一ステップにもなる。GEWAC のワークショップを 1987 年米国 (Columbia) で開くことになった。

GEWAC の主要な観測目標は次の4項目からなる。

1) 熱帯風観測：顕熱、潜熱フラックスの時間変化の全球の推算は4次元解析からえられる。発散風場 (特に熱帯) を含む大循環の日々変化を正確に知ることが第一である。4次元データ同化実験によると、これは衛星と地上観測データ解析の最適化によってかなえられる。2カ所の全球気象予報センターで独立に推定した初期の風の場の差異は、熱帯地方の風観測のないところで 850 mb で 10~15 m/s, 250 mb で 20~25 m/s にもなる。このことは熱帯の風ベクトル算出数を1オーダー上げるのが最優先であることを示している。そこで 30°N~30°S の風算出の空間分解能を、水平 100 km, 鉛直 5 レベルにし、精度を 1~2 m/s にすることになる。このためには新しい計測法の開発が必要である。静止衛星での経験から、衛星による風算出のためには雲の高さを 500m 以下

の精度で測る雲高度測器 (多分衛星搭載ライダー) が必要になる。2) 地球放射収支：雲分布を予測し気候シミュレーションにおける雲放射フィードバックの解明は1995年ころには著しい進歩をみると考えられるので、(1) 全鉛直気柱の放射フラックス発散すなわち放射加熱率を測り、(2) 種々の温室効果ガスと放射活性の大気成分を測定する。地表の日射照度は衛星の雲データから推定できる。地上の長波放射収支は大気頂フラックスとは関係がないので、高品質の大気サウンディングデータ、地上気温、雲鉛直分布データの組合せから計算することになろう。そこで大気頂の多分光放射収支を 50~100 km の分解能で測り、気温と水蒸気の鉛直分布と雲の鉛直分布から、長波と短波の地上放射収支を計算する。適当な分光分解能によって種々の放射活性大気成分の影響を分離して評価することにより、これらの成分ガスが原因の気候変化を早期に検知できるようになる。1989~90年ころの ERBE 計画の終了後の 1995~2000年は、全球放射収支サーベイの理想的な機会である。3) 全球降水：赤外とマイクロ波による雲と液水量の鉛直分布を測り降水強度を推定する方法が提案されているが、実際の証明はなく、これはマイクロ波後方散乱と雨滴粒径密度の間関係が不明瞭なことが難点になっている。そこで (1) 雲の形と平均降水の経験的關係をうるため雲頂温度分布の解析、(2) 3次元雲分布のライダー後方散乱の測定、(3) マイクロ波放射計測、(4) 下向き気象レーダにより雨滴分布を測る。4) 表面蒸発：表面フラックスを推定できるような地上の大気要素を測れる衛星観測法はない。大規模な大気場の広範な解析から表面フラックスが推定できる。そこで顕熱潜熱を全球の気流と気温湿度場の4次元解析から推定する。GEWAC は赤外とマイクロ波による地表特性の観測、DCP の全球観測網、精密測定を行う有人観測所の組合せが考えられる。

(注：GEWAC はその後 GEWEC と改称した。)