

- the western equatorial Pacific ocean, *J. Geophys. Res.*, **96**, 3375-3389.
- Bruckler, L. and H. Witono, 1989: Use of remotely sensed soil moisture content as boundary conditions in soil-atmosphere water transport modeling 2. Estimating soil water balance, *Water Resour. Res.*, **25**, 2437-2447.
- 近藤純正, 1984: 複雑多様な地表面の熱収支 — 研究の指針一, *天気*, **31**, 573-581.
- 近藤純正, 1992: 地表面温度と熱収支の周期解及びその応用, *農業気象*, **48**, 265-275.
- 近藤純正, 1993 a: 乾燥域における地表面熱収支の研究 指針 (1) モデル, (2) 計算結果, *水文・水資源学会誌*, **6**, No. 3.
- 近藤純正, 1993 b: 表層土壌水分量予測用の簡単な新パケツモデル, *水文・水資源学会誌*, **6**, No. 4, 印刷中.
- 近藤純正, 中園信, 1993: 日本の水文気象(4): 地域代表風速, 熱収支の季節変化, 舗装地と芝生地の蒸発散量, *水文・水資源学会誌*, **6**, 9-18.
- 近藤純正, 渡辺力, 1991: 広域陸面の蒸発 — 研究の指針一, *天気*, **38**, 699-710.
- 近藤純正, 渡辺力, 中園信, 1992: 日本各地の森林蒸発散量の熱収支の評価, *天気*, **39**, 685-695.
- 近藤純正, 渡辺力, 中園信, 石井正典, 1992: 森林における降雨の遮断蒸発量のモデル計算, *天気*, **39**, 159-167.
- Kondo, J., N. Saigusa, T. Sato, 1990: A parameterization of evaporation from bare soil surfaces, *J. Appl. Meteor.*, **29**, 385-389.
- Kondo, J. and T. Watanabe, 1992: Studies on the bulk transfer coefficients over a vegetated surface with a multilayer energy budget model, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 2183-2199.
- Manabe, S., 1969: The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 739-774.
- Yamazaki, T. and J. Kondo, 1992: The snowmelt and heat balance in snow-covered forested area, *J. Appl. Meteor.*, **31**, 1322-1327.
- Yamazaki, T., J. Kondo, T. Watanabe, and T. Sato, 1992: A heat-balance model with a canopy of one or two layers and its application to field experiments, *J. Appl. Meteor.*, **31**, 98-103.
- Yamazaki, T. and J. Knodo, 1993: The atmospheric heating over snow-covered forested areas and snowmelt, *IHS*.
- 山崎剛, 田口文明, 近藤純正, 1993: 積雪のある森林小流域における熱収支の評価, *天気*, **41**, 71-77.

406:412 (陸面水文過程; 衛星リモートセンシング)

2. 「陸面過程と衛星リモートセンシング」に対するコメント*

佐藤 信夫**

筆者は、数値予報を専門としているので、数値予報からみたりリモートセンシング一般、次に陸面のリモートセンシングについてコメントする。ただしここでは、主として大気の数値予報を念頭においている。

数値予報における衛星観測データの利用は予報モデルの初期値(気温や水蒸気, 風など)あるいは地表面境界値(海面水温・積雪深・アルベドなど)として日々のルーチン予報に直接利用する場合と、解析・予報の

検証や放射や湿潤対流など予報モデルの物理過程の検証に利用される場合の2とおりがある。

現行の数値予報モデルに初期条件・境界条件や気候値として観測によって与えなければならない物理変数を第1表にまとめた。物理的な大気現象など変化の時間スケールが短く、初期条件を与えるために用いられる観測データは遅くとも数時間以内に数値予報センターに届く必要がある。数値予報関係者は、このようなデータ入手をリアルタイムと呼ぶことが多い(衛星関係者は受信信号の即時的伝達・処理をリアルタイムと呼ぶらしい)。

海面水温や広域の土壌水分などはその時間変化が緩

* Comment on "Land-surface processes and satellite remote sensing".

** Nobuo Sato, 気象庁数値予報課.

© 1995 日本気象学会

第1表 観測により与えるべき数値予報の物理変数.

予報変数の初期値

@大気の気温・水蒸気・風の3次元分布と地表面気圧
雲水・雲水量を近い将来予報変数として導入する予定であり、その初期値を如何に与えるかが課題.

@地表面(キャンピー・積雪面など)温度、積雪深、
土壌温度・水分量

土壌水量を近い将来予報変数として導入する予定、
現在、地表面温度の初期値は地表面の熱収支から求め、
その他の初期値は月ごとの気候値から初期値の日付に
内挿して求めている。近い将来、積雪深、土壌温度・
水分・水量をデータ同化により求めたい。観測の有無
が鍵となる。

地表面境界条件

@海面水温・海水分布

月ごとの海面水温気候値を予報時刻に内挿し、初期
時刻において解析された気候値からの偏差を時間的に
一定として加えている。海面水温 -1.8°C 以下を海水域
と定義している。力学的季節予報のための大気海洋結
合モデルでは、海水温・海流を含めて予報変数となる。

@アルベド・粗度・植生指数など

月ごとの気候値

その他

@大気成分

通年・全球一定値の二酸化炭素、季節ごとの帯状平
均気候値のオゾン量を用いている。観測されたオゾン
の3次元分布を与える必要がある。近い将来、短波放
射スキームにエロゾルの効果を導入する計画である。
エロゾルの全球的鉛直分布を如何に与えるかが
課題。

やかなので、観測データ入手の即時性に対する要求も
ゆるやかになる。ERBE(地球放射収支観測衛星)によ
るOLRなどの放射データは、予報モデルの放射過程
のパラメタリゼーションの検証に用いられており、オ
フラインド入手しても利用価値がある。

数値予報の解析には、第2表のような衛星観測デー
タが用いられている。数値予報においては、定量的に
表された高い絶対精度の観測データが要求される。こ
のような利用形態は、放射強度を画像処理してパター
ン認識を行うような、例えば総観解析への利用などと
はかなり異なる。

また近年の数値予報では、予報変数である気温や風
に変換される以前の、放射強度や海上の表面張力波に
よるマイクロ波の散乱断面積などの、生に近い衛星
データを直接利用する方向に進んでいる。

例えば極軌道衛星によって観測された波長帯毎の放
射強度と、第一推定値(=数値モデルによる短時間予
報値)の気温と水蒸気の鉛直プロファイルから求めた
放射強度の差が最小となるように、第一推定値を修正
してより精度の高い気温の鉛直プロファイルを求める

第2表 数値予報にリアルタイムで用いられている衛
星データ.

@雲移動ベクトル風

静止気象衛星から観測した雲の移動から求めた風ベ
クトルデータ。ひまわり5号からは、水蒸気分布の移
動から求めた風ベクトルデータも作成される。精度は
年々向上しているが、使用に際し品質管理を要す。

@気温鉛直分布

米国海洋大気庁が運用する極軌道衛星のVAS
(Vertical Atmospheric Sounder)の二酸化炭素の吸
収バンドの放射強度から求めた気温の鉛直分布。この
気温データの精度は数値予報モデルによる6時間予報
値の精度と同程度なので、放射強度そのものを解析に
直接利用する方向で開発が進んでいる。

@海面水温

気温鉛直分布と同じく、極軌道衛星のVASから求
められる。毎日の全球海面水温解析を可能にしている。

@雲データ

静止気象衛星ひまわりから観測された赤外放射強度
から求めた 0.5×0.5 メッシュの雲量・雲頂高度平均
と標準偏差などのデータ。全球・日本領域などの湿度
解析に利用され、熱帯の予報精度向上に貢献している。
目下、日・米・欧間の全球的な交換を推進している。

手法が研究され、ルーチンの数値予報に用いられてい
る。

また、マイクロ波の散乱断面積から海上風を求める
場合も、数値予報モデルにより得られた海上風の第一
推定値を利用することで、風向決定の多重性が除かれ
る。今後ますます、衛星観測のリトリバルと数値予
報の緊密な連携が求められよう。

さて1990年代後半のWCRPの大型副計画として
GEWEX 全球水エネルギー循環観測実験が計画され
ている。この計画においては気候変動予測の不確実性
を減らすため、雲・放射・降水の相互作用と陸面水文
過程が重要な研究課題となっている。これらは数値予
報においても、系統的誤差を減らし予報精度を向上さ
せるために重要な課題である。この目的を達成するた
めには、新たにエロゾル、雲水量、土壌水分など陸
面水文過程に関するリモートセンシングデータが要求
される。

海面水温については、曲がりなりにも極軌道気象衛
星や船舶・浮遊ブイによる観測データを用いて、毎日
全球解析が行われている。しかし、海面水温に次いで
大気大循環に大きな影響を与える土壌水分につい
ては、その広域分布の観測が皆無である。現状では多く
の場合、簡単なモデルを用いて作成した気候値を土壌
水分の初期値作成に利用している。

このため、適切な顕熱と潜熱の比を与え、年々変動

をも表す土壌水分の導出が重要な課題となっている。

- 広域の土壌水分（と積雪深）を求める手法としては、
1. 鉛直一次元の陸面水文過程モデルに地上気温・水蒸気圧・風速・降水・下向き短波/長波放射量の観測値を大気の陸面に対する外力として与え、時間積分を行う。
 2. 観測された地上気温と水蒸気圧の日変化を与えるように土壌水分を調整する。
 3. 陸面水文過程モデルを含む数値予報モデルによる4次元データ同化を行う過程で、土壌水分を求める。
 4. 観測された地上気温から可能蒸発散量を求め、さらに観測の降水量と流出量から、流域の土壌水分

を推定する。

などがある。それぞれの手法には一長一短がある。例えば、第3の大気の4次元データ同化の副産物として土壌水分を求める手法は、同化するべき土壌水分観測値のない現状では、モデルの気候ドリフトの悪影響をまともに受ける。つまり、土壌水分について予報-予報サイクルとなり、一方的な乾燥化または湿潤化が起こる可能性がある。

このことから、土壌水分を導出するためには、土壌水分そのものや植生分布、大気側からの外力（下向き短波放射など）に関して、衛星によるリモートセンシングが欠かせない。今後の、陸面水文過程の広域観測の発展が切に望まれるところである。

102:202:5013 (雲量; 雲頂温度; 雲水量; 粒径分布)

3. 雲の衛星リモートセンシング*

早坂 忠裕**

1. はじめに

人工衛星の歴史と共に、雲に関する衛星リモートセンシングも既に30年以上にわたって研究、開発が行われてきた。雲は地球の気候変動において大きな役割を果たしているにもかかわらず、時空間変動が大きいために、地上からの限られた目視観測、ゾンデ観測、あるいは航空機を用いた観測ではそのグローバルな挙動を解明することは極めて困難である。その点、衛星リモートセンシングの登場は、まさに画期的な出来事であったといえる。衛星からの雲のリモートセンシングとは、換言すれば、雲量、雲頂温度（高度）や雲水量というような様々な雲パラメーターをいかに定量的に評価するかということである。ここでは、簡単なレビューを行なうと共に、最近の研究の状況を中心に、将来の展望も含めて述べることにする。

2. 地球の気候と雲パラメーター

気候変動における雲の役割という観点から、衛星リ

モートセンシングに期待される雲パラメーターとしては、例えば第1表に示すように雲量、雲頂の気圧（すなわち高度）、雲頂温度、光学的厚さ、鉛直積算雲水量、アルビード等が挙げられる (Rossow and Schiffer, 1991)。この表は ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) におけるレベルC2データのリストであるが、最近はこちらのパラメーターに加えて、雲粒有効半径、雲粒が水か氷かの違い、さらには雲の幾何学的厚さもリモートセンシングによって推定することが可能になりつつある。

現在、地球の約50%を覆っている雲は、よく知られているように太陽放射を反射することによって地球を冷却する効果（アルビード効果）と、地表面からの赤外放射を吸収し、地球を加熱する効果（温室効果）の両面を合わせ持つ。これら二つの正味の効果としては、アルビード効果の方が優っており、結果的に雲が存在することによって地球は冷却されていると考えられている (Ramanathan *et al.*, 1989)。しかしながら、それでは、雲量の変化に伴って地球の温度がどのように変化するのか、また、地球の温度に伴って雲がどのように変化するのか、というような極めて重要な問題に対して、我々はどの程度理解しているかといえば、ま

* Satellite remote sensing of clouds.

** Tadahiro Hayasaka, 東北大学理学部.

© 1995 日本気象学会