

# アジア地域の高分解能4次元同化プロダクト(GAME再解析) による水循環評価

## ——積雪情報改良の効果——

谷田貝亜紀代\*・山崎 信雄\*\*・高橋 清利\*\*・操野 年之\*\*\*

\*総合地球環境学研究所

\*\*気象庁気象研究所

\*\*\*気象庁気候情報課

### 要 旨

1998年4月～10月夏季モンスーン期に、アジアモンスーンの理解を主目的として GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) 特別観測が行われた。その特別観測データを、気象庁の数値予報スキームにデータを追加する形でとりこんだ GAME 再解析データ Ver. 1.1 (第1版) がすでに公開されている。その第2版の最大の改良点のひとつが、陸面モデルと積雪情報の変更である。この第2版作成のために行った実験のうち、積雪情報の改良実験およびその効果について報告する。

1998年5月を主対象とした本実験の結果、気候値や不十分な観測点による積雪情報を、衛星から求められる積雪情報に変更したところ、1997/98年冬季はチベット高原は多雪年であったため、地面温度や顕熱フラックスが非常におさえられる結果が得られた。その差がチベット高原西部では著しく、見積もられる顕熱フラックスは、約半分になりその差が $100\text{W/m}^2$ に及ぶことがわかった。

キーワード: 広域水循環, 気候変動, アジアモンスーン, 4次元データ同化

#### 1. はじめに

数値天気予報の初期値作成のために作成される客観解析値や予報値、また再解析データセットが、現在気象・水文分野でさかんに用いられている。再解析データの利用は応用範囲が広く、例えば大河川流域における水災害問題の分析のためにも使用される (Tachikawa et al., 2001; Shrestha et al., 2002)。主として研究目的で作成される再解析データセットは、日本でも作成されるようになり、1998年4月～10月についての特別観測データを取りこんだ再解析データは、GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) 再解析データ (Ver. 1.1) と呼ばれる (谷田貝ほか、

2000; 山崎ほか, 2000)。GAME 再解析 Ver. 1.1 (以降, Ver. 1.1 と略) は2000年9月に一般公開されたが、改良版 (以降, 第2版と略) が2002年半ばに公開の予定である。データ作成チームでは、第2版作成にむけて実験を重ねたが、ここでは、陸面過程の理解・データ精度向上に重要と思われる、積雪情報改良とその効果について報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 本実験および GAME 再解析のデータ同化システム

本実験で使用したデータ同化システムは、気象庁

## TEMPA (Radio Sonde) June 1998

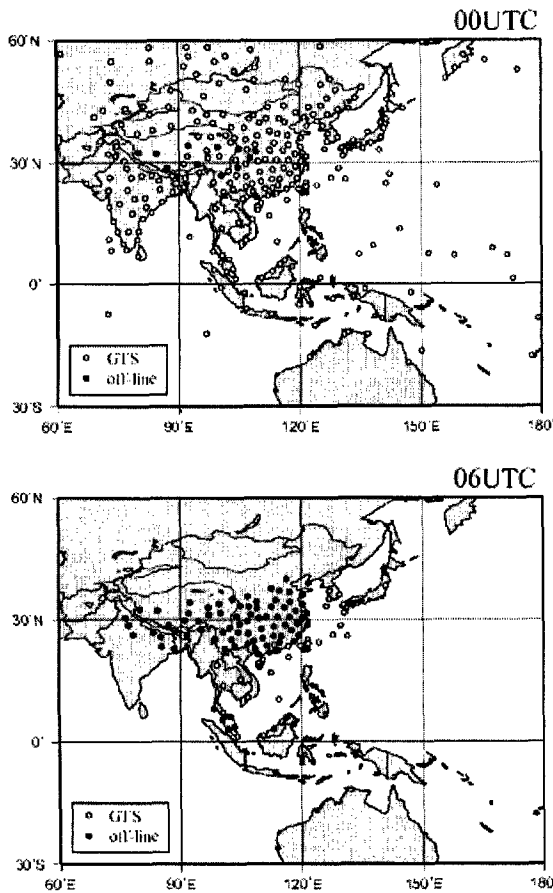


Fig.1 Radio-sonde stations that was assimilated for this study in June 1998. Upper: 00 UTC, Lower : 06 UTC. The distribution patterns for 12 UTC and 18 UTC are roughly the same with that of 00 UTC and 06 UTC, respectively. Open circles show radio station data derived by GTS network, while closed circles are off-line data.

数値予報課で開発された6時間ごとの予報解析サイクルで、同化スキームは最適内挿法を用いた。大気モデルは、Ver. 1.1では、1999年12月に公開された現業全球同化モデル (GSM9912) を使用したが、本実験では、2001年に公開されたものを使用した。地表面過程は、Ver. 1.1では地表面・地中温度・土壌水分・積雪深には気候値を使用した。第2版および、本実験では地面・地中温度の予報一予報サイクル化 (真木・佐藤, 1997) をさせ、モデルも改良した2001年3月版の陸面モデルを使用した。また、2.2節に記す積雪深情報を第2版では使用する予定であり、本実験はこの積雪情報のインパクトを見るものである。GAME再解析で使用したシステムなどについては、谷田貝ほか (2001) を参照されたい。なお

Ver. 1.1と比較し中国南部、東南アジアの一部、インド北部のゾンデデータを追加した。それらオフラインデータを含む、アジア地域のゾンデデータについて Fig.1に記す。

### 2.2 積雪データ

操野 (2001) による日積雪深データを用いて実験を行った。本データは、米国軍事気象衛星 (DMSP) に搭載された受動マイクロ波放射計 (SSM/I) の観測輝度温度データから積雪深を求めるもので、基本的には、NOAA/NESDIS作成の週間積雪被覆資料により、積雪被覆情報の閾値を地域ごとに設定した後に、SSM/Iの19GHz(H)と37GHz(H)の輝度温度差から積雪深を推定するものである。ここでは、この操野 (2001)により計算された0.25度グリッド日積雪深データをもとに、GAME再解析用に1度グリッドにデータを再編・変換して陸面の境界条件として使用した。

### 2.3 実験

GAME再解析第2版も、Ver. 1.1と同様に1998年4月から10月を解析対象としているが、本実験は、5月のみを対象とした。(計算は4月16日から行う。) Table.1に、2.2に記した衛星による積雪深情報を使用する実験 (Satellite Run), 比較実験 (Control Run) および Ver. 1.1の違いについて簡単にまとめた。Control Runは数値予報課で開発された2001年3月から現業化されている「積雪解析」を使用する。この積雪解析では基本的にはGTSを通じて入電された現地観測の積雪深地点データと気候値の解析により格子点積雪深を計算しているが、積雪の通報がない地域の信頼性は欠けると考えられる。

Satellite Run および Control Run では、地面・地中温度は、6時間前の全球モデルの予報結果を引き継ぐという予報-予報サイクル化が行われており、その上で積雪情報を与えている。これら両実験は、境界条件である積雪情報以外は、全く同じ条件で計算する。Ver. 1.1では、陸面境界条件の地中温度、積雪深、土壌水分には気候値が与えられていた。(Satellite Run, Control Runとも土壌水分は気候値のままである。)

### 2.4 積雪分布

Fig.2に、1998年4月1日における衛星積雪深、積雪解析の結果、積雪深気候値のデータを表示する。これらは、Table.1に示すSatellite Run, Control Run, Ver.1.1の積雪境界条件に対応する。1997/1998年冬季は、チベット高原では積雪の多か

Table 1 Difference between Snow-Run, Control-Run and GAME reanalysis Ver.1.1.

	Satellite-Run	Control-Run	GAME Reanalysis V1.1
Assimilation Scheme	OI (Optimum Interpolation)	OI (Optimum Interpolation)	OI (Optimum Interpolation)
Resolution	T213 level 40	T213 level 40	T213 level 30
GAME-IOP radio-sonde Over China (Tibet, North and Middle China)	Used+ SCSMEX (South China) North India (wind)	Used + SCSMEX off-line North India (wind)	Used
Soil Temperature	Forecast-Forecast Cycle	Forecast-Forecast Cycle	Climatology
Snow	Kurino(2001) SSM/I snow depth	Snow analysis using SYNOP snow depth	Climatology

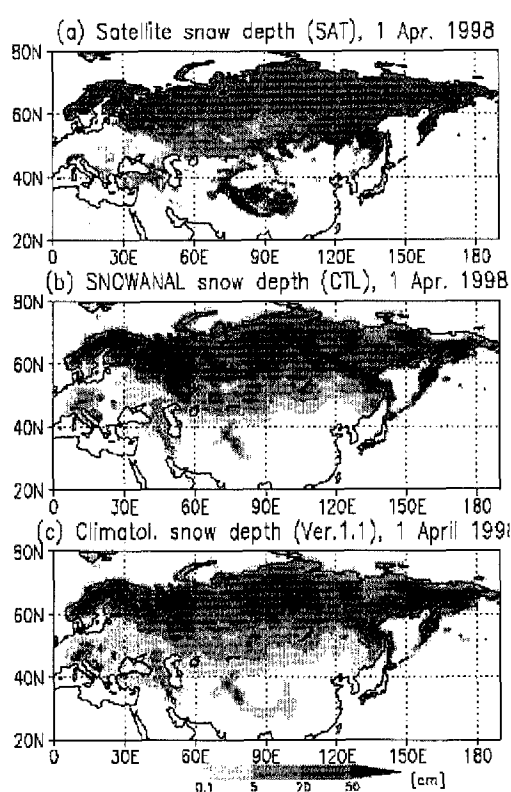


Fig.2 A sample of snow data distribution used for (a) Satellite Run, (b) Control Run, and (c) GAME Reanalysis Ver.1.1. The observed time of each map is 1 April 1998.

った年として知られているが、この図にもその傾向は明白に現れている。積雪解析でチベット高原上や中国北部の積雪量が少ないのは、中国からの地上で測定された積雪深データのGTSへの通報がないためであると考えられる。一方で、シベリア南部の積雪被覆域の南限を見比べると、衛星による情報が最も

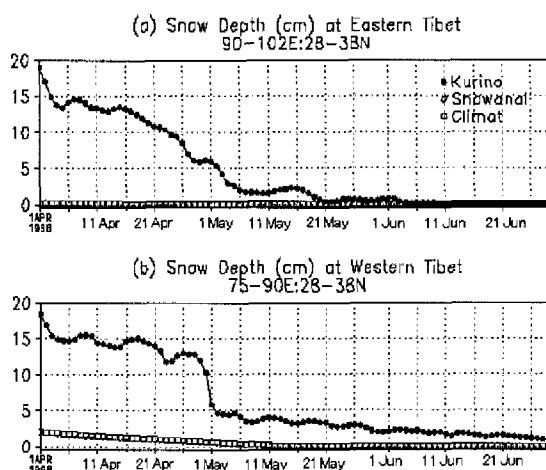


Fig.3 Time series of mean snow depth over (a) Eastern Tibetan Plateau, and (b) Western Tibetan Plateau from 1 April 1998 to 30 June 1998. Closed circles (Kurino) mean snow data for Satellite Run and open squares mean climatological snow for Ver.1.1. Open circles for Control Run are overlapped by open squares.

北側にあり、積雪深解析と気候値はより南側まで雪に覆われているとしている。これは、気候値の影響を受けていると考えられる。積雪深の絶対量をシベリアで比較してみると、操野(2001)は過少評価しているように見える。他の方法で求めた積雪分布図などと比較してみても、シベリア域では相対的に過少評価しているようである(図略)。しかしながら、GAME再解析としてのフラックス場や大気場などに与える影響の観点からは、6時間ごとの予報サイクル(予報実験を行うとしても24時間)で融解しない量の積雪であれば、深度の絶対値は特に大きな影響は与えないことから、被覆状況が本実験としては問

題になろう。

Fig.3は、4月1日から6月30日における衛星積雪深(Kurino), 積雪解析(Snowanal), 積雪深気候値(Climat)のチベット高原東部(90-102E/28-38N)・西部(75-90E/28-38N)の平均積雪深時系列を表す。Control Runの積雪解析は、Fig.2と同様に、中国からの地上で測定された積雪深データのGTSへの通報がないため、気候値とほぼ同じ傾向となっている(図では両者が重なっている)。

平均的にみて、東チベットでは、6月上旬まで積雪がみられるのに対し、気候値の影響をうけるControl Runでは、4月から積雪がほとんど見られない。西チベットでも、5月はじめに急激な減少がみられ、その後も6月にも積雪がかなりみられるのに対し、気候値では、5月半ばにほとんど積雪が消失する。

一方で、東シベリア域などでは、融雪のタイミングに注目すると、衛星による積雪分布では、5月10日前後に融解していることを示すのに対し、積雪解析および気候値では5月末まで積雪が残存することを示すところがある(谷田貝, 2002)。このタイミングの不一致については、GTS送信された積雪深データと可視・赤外センサを含む各種衛星データをあわせてチェックしていく必要があるだろう。そこで、ここでは、多雪年であったことが各方面から検証される一方Ver. 1.1など旧システムでは十分に表現できなかった、チベット高原域を中心に影響評価を行うことにする。

### 3. 結果

#### 3.1 地表面温度・キャノピー温度

チベット高原東部および西部で平均した地表面温度およびキャノピー温度の時系列を、それぞれFig.4とFig.5に示す。6時間ごとの6時間予報の平均値をそのまま表示している。空間分布図(省略)では、チベット高原上のほかシベリアの積雪境界域でも違いが見られたが、ここでは、チベット高原の東部と西部についてのみ結果を報告する。Fig.4, 5を日々変化に注目してみると、大気側に存在する数日スケールの温度変化に対応したと考えられる地表面温度変化がみられる。これは、地表面温度を気候値でなく、前時刻の大気最下層の温度を地中温度としてつないだ予報予報サイクルの効果の現れである。(GAME再解析Ver.1では地面温度は気候値であったため、日々変化は表現されない)

夜間の温度差は少ないが、日中の西チベットでの積雪の有無による温度差がキャノピー温度、地面温度とも、数度見られる。東チベットでも、5月前半の

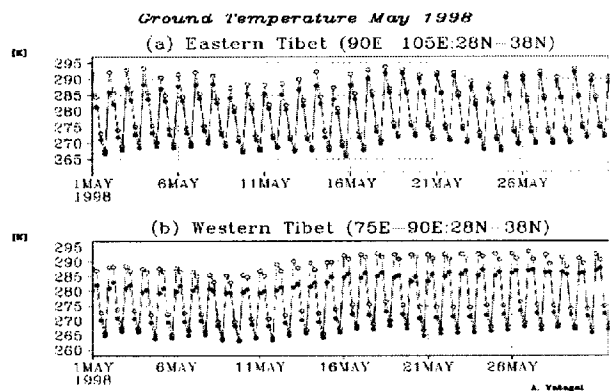


Fig.4 Time series of ground temperature averaged over (a) Eastern Tibetan Plateau, and (b) Western Tibetan Plateau from 1 May 1998 to 31 May 1998. Closed circles denote result of Satellite Run, while open circles denote that of Control Run.

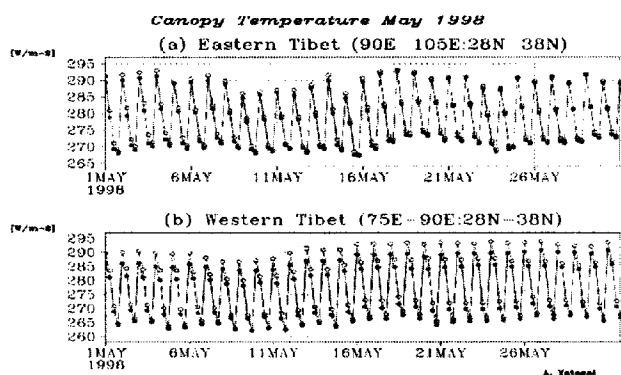


Fig.5 Same as Figure 4 except for canopy temperature.

地表面温度には差が現れており、積雪の影響がみられる。

#### 3.2 地表面フラックス

Fig.6は、地表面の顕熱フラックスの5月1日から15日までの平均値(1日4回)である。参考のため、(d)に同期間のECMWF現業の予報値の分布も示した。ECMWFでは積雪情報は、地点積雪深・衛星積雪深とも使用していない。本データとGAME再解析データの比較については、谷田貝(2001), Yatagai et al.(2001)を参考にされたい。

Fig.6では、積雪域と海洋で、顕熱輸送は下向きあるいはほぼゼロを示している。Control Run(a)とVer.1.1(b)はほぼ似た分布をしている。Satellite Run(c)は、チベット高原上および天山山脈、モンゴル高原で顕熱フラックスが非常に低くなっている。一方で、シベリアのフラックスはControlと比較して強くなっている。これは、融雪のタイミングの違い



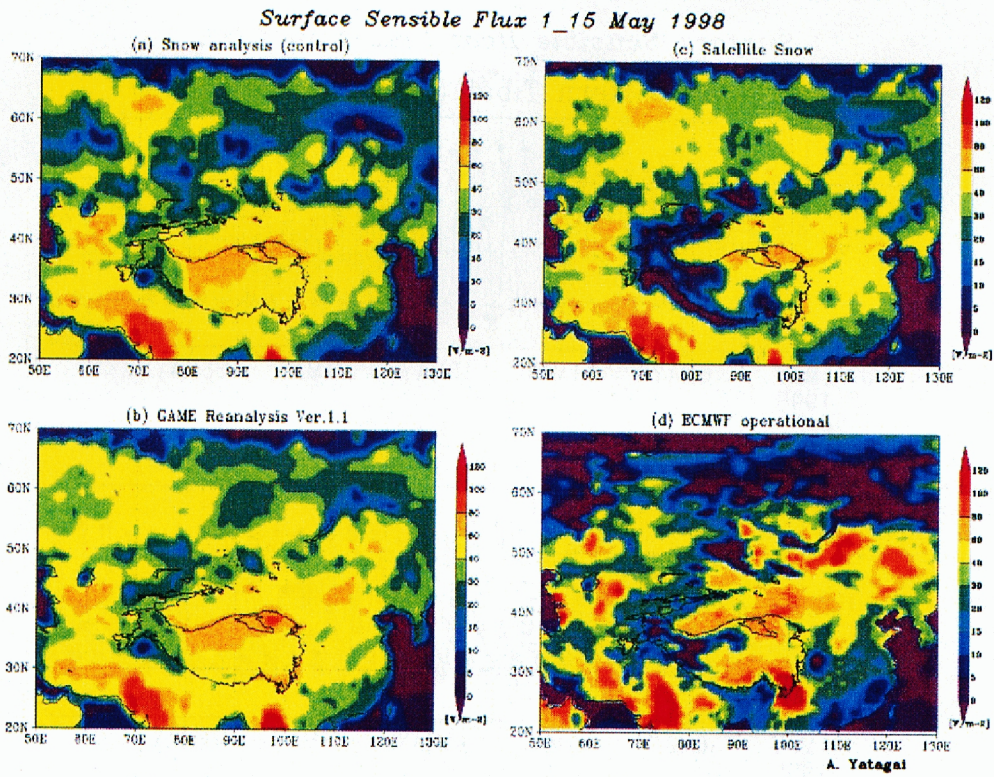


Fig.6 Distribution of the surface sensible heat flux averaged from 1 to 15 May 1998 derived by (a) Control Run, (b) GAME Reanalysis Ver.1.1, (c) Satellite Run and (d) ECMWF operational.

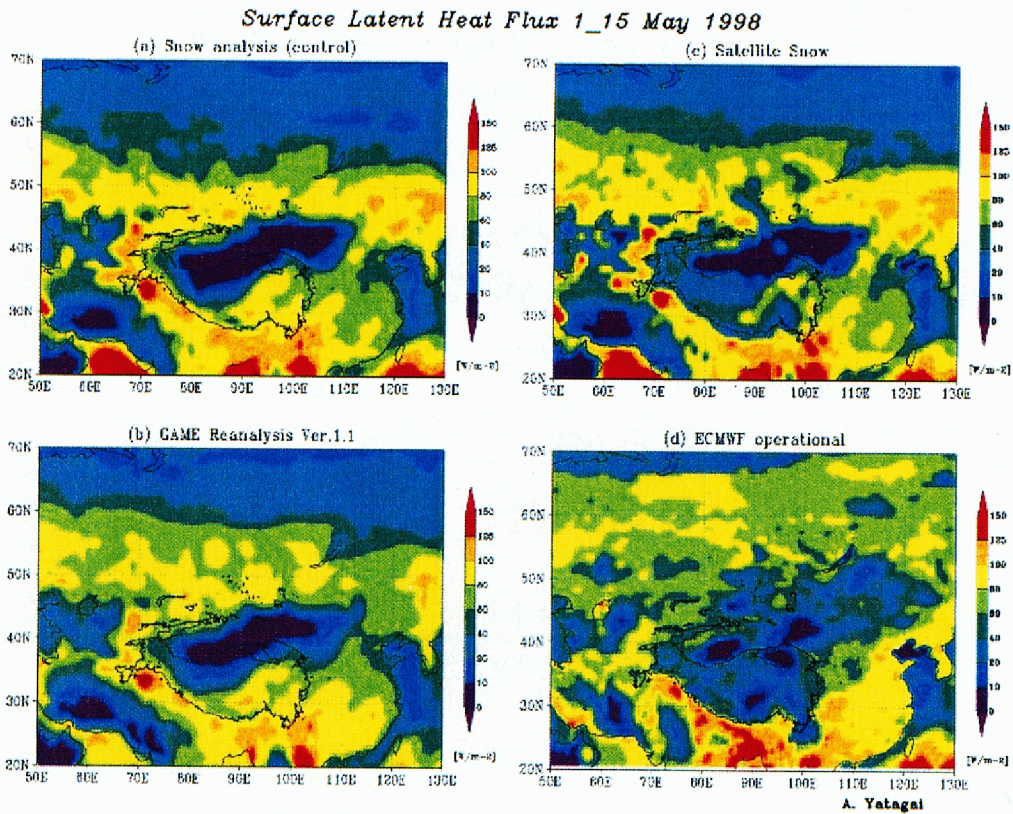


Fig.7 Same as Figure 6 except for the surface latent heat flux.

*Surface Sensible Heat Flux May 1998*

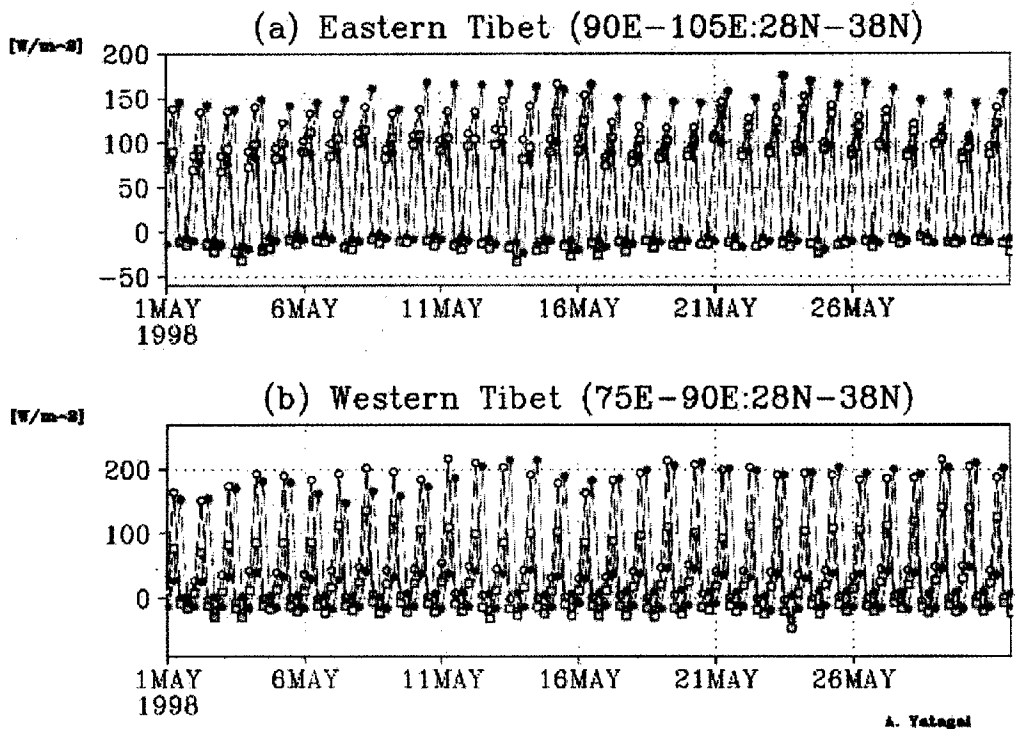


Fig.8 Time series of the surface sensible heat flux from 1 to 31 May 1998 over (a) Eastern Tibetan Plateau and (b) Western Tibetan Plateau. Open circles, open squares, and closed circles are Control Run, Satellite Run, and GAME reanalysis Ver.1.1, respectively.

*Surface Latent Heat Flux May 1998*

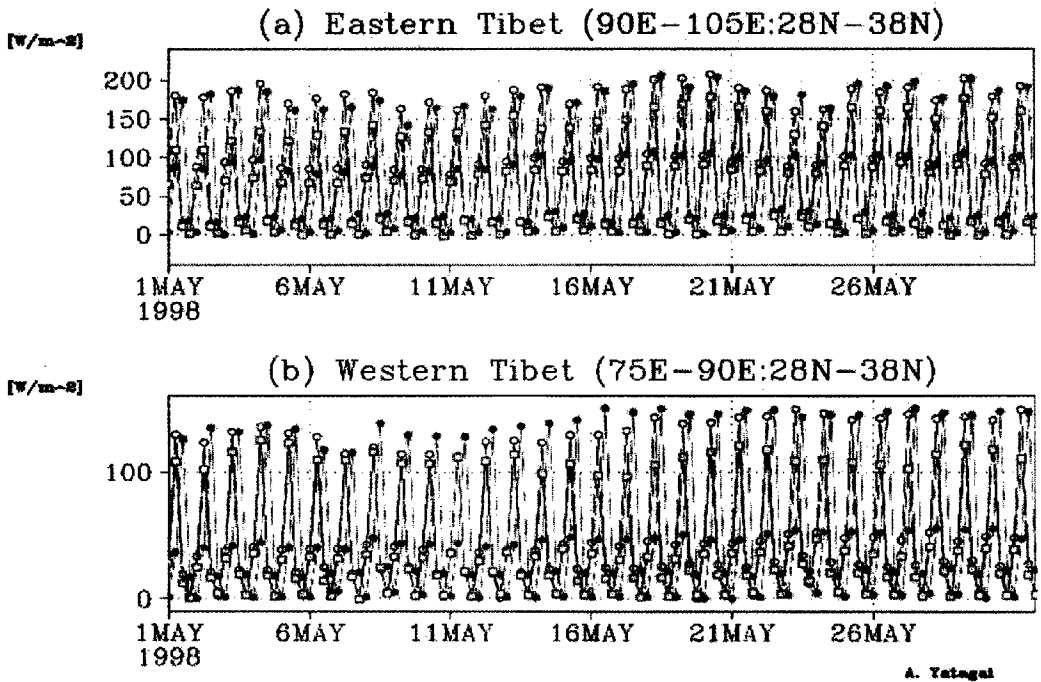


Fig.9 Same as Figure 8 except for the surface latent heat flux.

いの15日間の積算の効果が現れている。

Fig. 7は、潜熱フラックスの同期間の平均値である。衛星の積雪の結果は、シベリアではControlよりはVer. 1.1に似ているようである。チベット高原上では、西チベットではSatellite RunがControlよりも強く、東チベットでは逆に弱く出ている。

Fig. 9は、地表面の顕熱フラックスの東西チベット高原における5月1日から31日までの時系列である(1日4回)。Satellite Runは、Controlよりも、東チベットでの日中の顕熱フラックスの見積もりは約50W/m<sup>2</sup>減少した。西チベット高原では、日中の顕熱フラックスがControl, Ver. 1.1の約半分となった。

潜熱フラックス(Fig. 10)は、東チベットで日中若干弱、西チベットでは、5月後半に潜熱フラックス度の低下が考えられるが、Fig. 4およびFig. 5と比較すると、実験による温度差が生じてフラックスが日中の減少がみられる。積雪をおいたことによる潜熱フラックスの減少は、ひとつには地面・大気温度それほど大きく変化しない時期もあり、大気場・放射場・土壌の水分条件(土壌水分は6時間ごとに気候値にリセットされるが、降雨などで状況は変化する)とあわせて、今後解析する必要があることがわかった。

#### 4. まとめ

衛星による積雪域・積雪量の情報を、GAME再解析用のシステムの地表面境界条件として使用することにより、1997/1998年に多雪がみられたチベット高原の春季(5月)の地表面状態のインパクトを調べた。それにより地面温度や顕熱フラックスが非常におさえられるという理にかなった結果が得られたが、その効果(差)が、西チベットでは顕熱フラックスが日中、約半分になり100W/m<sup>2</sup>に及ぶことがわかった。今後は、これら地表面の大気への影響をより詳しく調べる必要がある。また、潜熱フラックス(蒸発量)は、降水量とあわせて、流出量・土壌水分量の見積もりを行う上での重要なパラメータであるため、今後は、積雪情報改良による流出量の再現性についても調べていきたい。

#### 謝辞

GAME再解析は、気象庁気象研究所、気象庁数値予報課と宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター(EORC/NASDA)の共同研究としてはじめられましたが、第一著者の異動後もこの仕事をまとめるために便宜を図って下さった京都大学防災研究所寶馨教授、立川康人助教授、林泰一助教授、東京大学小池

俊雄教授に感謝します。気象庁数値予報課大泉三津夫氏には、有益なコメントをいただきました。なお、ここに表示したECMWFデータは、報告者が前職(EORC/NASDA)時に処理したものです。

#### 参考文献

- 操野年之(2001): マイクロ波による積雪情報抽出アルゴリズムの開発及び季節予報業務への利用, 気象庁気候・海洋気象部編 平成13年度季節予報研修テキスト, 27-34.
- 真木貴史・佐藤信夫(1997): 地中温度のサイクル化, 日本気象学会 1997年度春季大会講演予稿集, 71, A310.
- 谷田貝亜紀代・山崎信雄・釜堀弘隆・高橋清利・植田宏昭・青梨和正・隈健一・竹内義明・多田英夫, (2000): GAME再解析について, 水文・水資源学会誌, 13(6), 486-495.
- 谷田貝亜紀代(2001): GAME再解析 Ver. 1.1によるアジアモンスーン地域の水エネルギー循環—TRMM, ECMWFデータとの比較, GAME Publication No. 27, 2000年度GAME研究成果報告, 100-103.
- 谷田貝亜紀代(2002): GAME再解析 Ver. 1.2に向けて—積雪情報改良の効果—. 「アジアモンスーン地域におけるエネルギー・水循環」. GAME Publication No. 33, p67-69.
- 山崎信雄・釜堀弘隆・谷田貝亜紀代・高橋清利・植田宏昭・青梨和正・隈健一・竹内義明・多田英夫・福富慶樹・五十嵐弘道・藤波初木・梶川義幸(2000): GAME再解析データの公開, 天気, 47, 659-663.
- Shrestha, R. Tachikawa Y., Takara K. (2002): Effects of forcing data resolution in river discharge simulation, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol 46, February, 139-144.
- Tachikawa Y., Shrestha R., Takara K., Ichikawa Y. and Shiiba M. (2001): River Discharge Simulation in the Huaihe River Basin using HUBEX EEWB Data Set and GAME Reanalysis Data Set, The 3rd GAME-HUBEX Workshop on meso-scale systems in meiyu/baiu front and its hydrological cycle, Kunming China, 7-11 December, 2001, 135-138.
- Yatagai, A., Miyazaki, S., Sugita, M., Tsukamoto, O., Ohte, N. and Toda, M. (2001): A comparative study of surface fluxes derived from four-dimensional data

assimilation products with AAN observations,  
*Proceedings for the International workshop  
on GAME-AAN/Radiation, Phuket, Thailand,*

*7-9 March, 2001, p25-28.*

**Evaluation of Hydrological Circulation over Asia Using Fine Resolution Four Dimensional  
Data Assimilation Products (GAME reanalysis)  
— An Impact Study of Satellite Snow Information —**

Akiyo YATAGAI\* , Nobuo YAMAZAKI\*\* , Kiyotoshi TAKAHASHI\*\*

and Toshiyuki KURINO\*\*\*

\*Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto

\*\*Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

\*\*\*Climate Prediction Division, Japan Meteorological Agency

**Synopsis**

The GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) reanalysis data ver.1.1, which includes special radio sonde observation from April to October in 1998, is currently used for various kind of hydrological studies over the Asian Monsoon region. However, climatological snow and snow information were used to make the GAME reanalysis ver.1.1. This study shows the impact of using observed snow information by satellite (satellite-run) instead of climatological snow as a boundary condition of the four dimensional data assimilation system used for making GAME reanalysis data set.

The results show considerable reduction of ground temperature, canopy temperature and sensible heat flux with the satellite-run. Over the Western Tibetan Plateau, sensible heat flux by estimated satellite-run is almost half amount of that of control run using climatological information.

**Key Word:** Hydrological Cycle; Climate Variation; Asian Monsoon; Four Dimensional Data Assimilation