

GAME/Tibet IOP98 3 地点データを用いた4つの陸面水文過程モデルによる シミュレーション

高敷出 (気象研)・高田久美子 (地球フロンティア)・山崎剛 (地球観測フロンティア)・
石川裕彦 (京大防災研)・塚本修 (岡山大学)・Joon Kim (韓国延世大学校)

1. はじめに

GAME/Tibet プロジェクトにおいては、熱・水フラックス測定を目的とした観測が多く、多くの地点で実施された。ところが、超音波風速計、赤外線湿度計といったレスポンスの早い測器で得た乱流データを渦相関法に適用して求めた H 、 IE を用いると、地表面熱収支 ($R_{net} - G = H + IE$) は閉じず、多くの場合、 $R_{net} - G > H + IE$ となってしまう。これは、Imbalance 問題と呼ばれている (塚本・文字, 2001)。他の観測実験でも同様の傾向が現れており、BOREAS では、渦相関法が過小評価しているとの結論を得ている (Gu et al, 1999)。数値モデルの結果は、この収支が必ず閉じるため、観測結果とつきあわせることでこの Imbalance 問題に解決の糸口を見いだせるかもしれない。ただし、その際、モデルの持つ不確かさを検証する方法が無い点が問題である。

観測とモデルの結果の違いの原因として考えられるのは大きくみて以下の2つである。

- (1) モデルの問題：モデルの評価式の精度の問題。
- (2) 観測データの問題：データの精度、処理方法の精度の問題。

この2つを分離してやらないと、モデルの立場から観測結果について議論を加えることは出来ない。ここでは、数値モデルがまだ完璧ではないという立場をとり、(1) の評価には、現在国内外で動いている4つの陸面水文過程モデルの実行結果を比較することで対応する。また、(2) の評価には、50km 間隔で並ぶそれぞれ別のグループが設計した3地点データを用いることで対応する。

2. 観測データ

今回用いたデータは、GAME/Tibet IOP98 で得られた、いずれも東チベットの3地点、Amdo, NPAM, Nagqu である。これらはいずれも4000m以上の高地にあり、北から順におよそ50kmの間隔で並んでいる。観測システムの設計はそれぞれ異なっているが、顕熱・潜熱の導出にはいずれの観測点でも渦相関法が用いられている。

各観測点で得られたデータの地表面熱収支の各項を半旬平均ごとに並べてみたのが図1である。これをみると、Amdo の IE の値が他の2地点に比べて著しく小さくなっていることがわかる。これは、降水の影響が大きく出ていたためと推察されており、現在、検討中ということである。そのほかの点を見ると、3地点は似た振舞いを示していることがわかる。即ち、6月後半に至るまで $H > IE$ だが、7月には $H < IE$ となる。夏のモンスーンの入りが見事にデータに現れている。

3. 陸面水文過程モデル

今回シミュレーションに用いたモデルは、MJ-SiB、MATSIRO、TOHOKU、SiB2 である。これらは既に GAME 各領域研究で成果を上げ始めているモデルであり、これらの内、MJ-SiB の原型の JMA-SiB、MATSIRO、TOHOKU 各モデルは、既に GAME/Tibet POP97 データを用いて冬の積雪過程のシミュレーション比較実験を行っている (Takayabu et al, 2001)。

これらのモデルで、 H 、 IE の算出方法はすべてバルク法である。 LE の内蒸発量の評価には α 法または β 法が用いられている。即ち、 $E = \rho ChU [\alpha qSAT(Ts) - qa]$ または、 $E = \rho ChU \beta [qSAT(Ts) - qa]$ である。ただしここで、 $\alpha(\theta s)$ 、 $\beta(\theta s)$ は表層土壌水分量 θs の関数となっている。

4. 比較結果

4. 1. モデル間の差

H 及び IE の日値について、モデル値を観測値で割ったもの (R) を、3 地点、4 モデルについて比較した結果が表 1 にまとめてある。まず、IE をみると、Amdo ではシミュレートした 3 モデルすべてで R が大きく、これはデータの側に原因があることを示唆している。Yang と小池 (2001) は、SiB2 を用いたシミュレーション結果より同様の結論を得ている。また、NPAM と Nagqu の R をみるとモデル間で一定の傾向が出ている。即ち、R は $\text{TOHOKU} > \text{MJ-SiB} > \text{SiB2, MATSIRO}$ である。これは、モデル間の差であろう。

LE は本来「蒸散」+「蒸発」であるが、今回の実験条件では「蒸散」の寄与は相対的に低いことがわかっている。そこで、「蒸発」に注目する。これらのモデルでは蒸発の評価法は α 法または β 法であり、その結果に大差はないはずである。そこで、表層土壌水分に着目する。表層土壌水分量は係数 α 、 β の計算に使われる重要な量である。

図 2 は、Nagqu における 4 モデルの表層土壌水分量の時系列をみたものである。これをみると、モデル間の予報値の差の大きさが目に付く。これらの内 MATSIRO、SiB2 では、表層土壌水分量の振幅は抑えられている。MATSIRO では、表層土壌の厚さが他のモデル (2cm) よりも大きい (5cm) 為である。また、SiB2 では、表層土壌水分量は、土壌第 2 層の値に近く調整されている。このため、湿った環境にあるとき、この両モデルでは蒸発が抑えられる傾向がある。ただし、環境が乾いているときはこれは逆に働き、蒸発は容易にやまないことになる。今回のような夏のモンスーン期には、湿った環境下にあることが多いため、上記のような結果になったものとみられる。ただし、Nagqu で降水が途切れた 7 月末にはやや乾燥した状況が出現し、MJ-SiB で蒸発が止まってしまったときにも SiB2 では蒸発が続き、観測値とよりよい一致を見せた。

H の比較では以下のことがわかる。日値以上の平均データでは、地中熱流量 G は十分に小さく、 $R_{\text{net}} \sim H + IE$ となる。正味放射 R_{net} はモデル間で大きな差はないため、H のモデル間の差は IE の差の裏返しとなっている。

4. 2. 一般的傾向

前の節でみたような、地点、モデル固有の癖を承知の上で、データ、モデル間にみられる一般的傾向を追ってみる。このため、ここでは R を、雲量の指標 (f) の関数として表してみる。ここで f は、 $f = (L \downarrow \text{obs} - L \downarrow \odot) / (L \downarrow \odot - L \downarrow \bigcirc)$ 、ただし、 $L \downarrow \bigcirc$ 、 $L \downarrow \odot$ はそれぞれ快晴時と曇天時に予測される長波下向き値 (近藤他、1991 の実験式) である。 $f=0$ は快晴日に、また $f=1$ は曇天日に対応する。図 3 は、NPAM における IE の f-R 図である。Amdo、Nagqu でも概ね同様の傾向を見せている。

LE で共通にみられる傾向は、雲量の指標 f の小さいときに値が一定値に収斂していること、また、f が大きいときに R の分布が大きい値の方に広がっていることである。これは、潜熱の測定が雨の影響を受けることと関係している。f が大きいときに日雨量も大きくなることが確認されている。雨量が多いときに IE の測定精度は落ち、値が過小評価になることが知られており、今回の結果もそのことと矛盾しない。

H の比較では以下のことがわかる (図は省略)。観測される顕熱の日値の絶対値はこの期間 $H \sim 20 \text{ W/m}^2$ であり、IE よりも小さいが、f-R 図を見ると 3 地点 4 モデルのほとんどのケースで $R > 1$ である。その値は、f によらず一定である。観測される H がやや過小評価なのか、あるいは、モデルの顕熱の評価値がすべて過大評価であるかのいずれかである。

5. 結論

GAME/Tibet IOP98 で得られた東チベットの 3 地点のデータを、4 つの陸面水文過程モデルを使ってシミュレートし、結果を比較することにより、観測データの Imbalance 問題を考察した。LE は雲が多いほど過小評

値になり、H は全体として過小評価であることが、モデルによる再現実験から示唆されているが、この結果は、BOREAS における観測的研究(Gu et al, 1999)と矛盾しないものとなっている。

H (顕熱)	Amdo	NPAM	Nagqu
SiB2	——	2 ~ 3	1 ~ 3
TOHOKU	0 ~ 2	1 ~ 3	0 ~ 2
MATSIRO	1 ~ 2	2 ~ 4	1 ~ 4
MJ-SiB	1 ~ 2	~ 1	0.5 ~ 2

LE (潜熱)	Amdo	NPAM	Nagqu
SiB2	——	0.75 ~ 1.25	0 ~ 0.75
TOHOKU	2 ~ 5	1.25 ~ 1.75	1 ~ 2
MATSIRO	~ 2	~ 1.0	0 ~ 0.75
MJ-SiB	2 ~ 3	1.0 ~ 1.25	0 ~ 1

表1：3地点、4モデルによるシミュレーション。R=モデル値／観測値の表。H と IE。

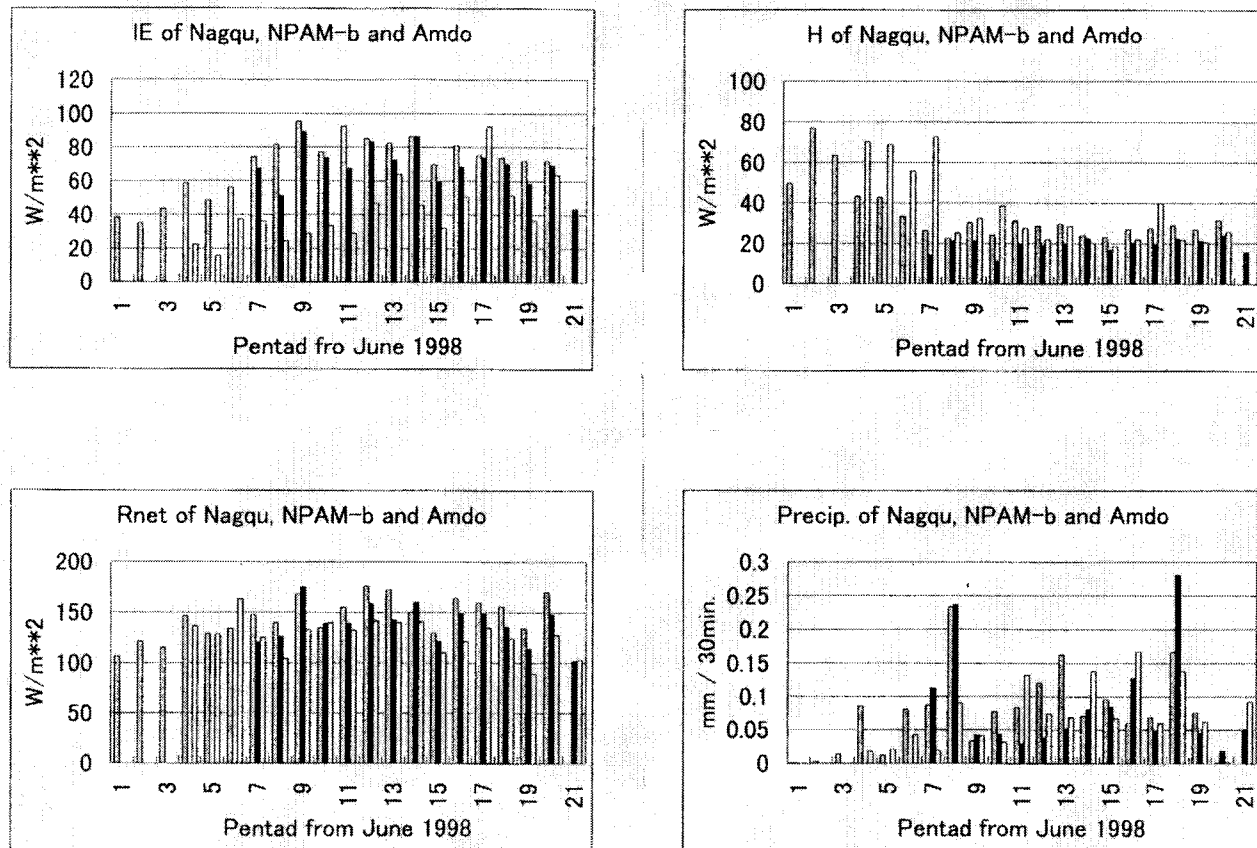


図1：3地点で観測された地表面熱収支の各項と、降水量の半月平均。6月1日から、シミュレートを実施した期間のみのデータで作成。3本並んでいる棒は、左から Nagqu、NPAM、Amdo。

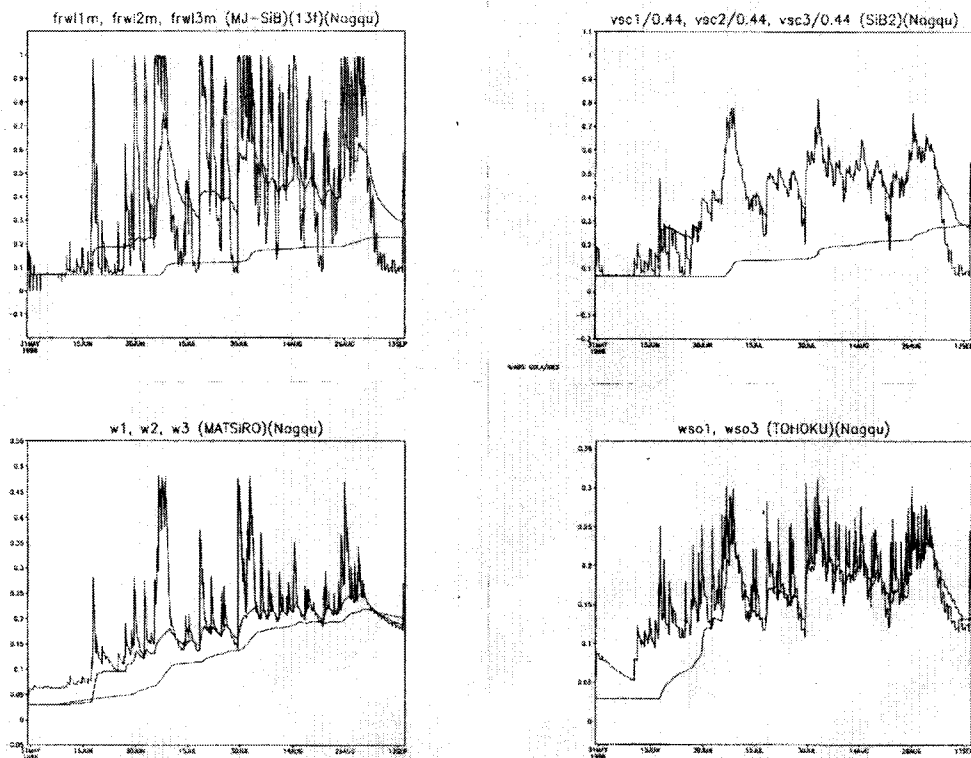


図2：Nagquにおける土壌水分量の時系列図。4モデルの結果。土壌深度は統一してはいない。

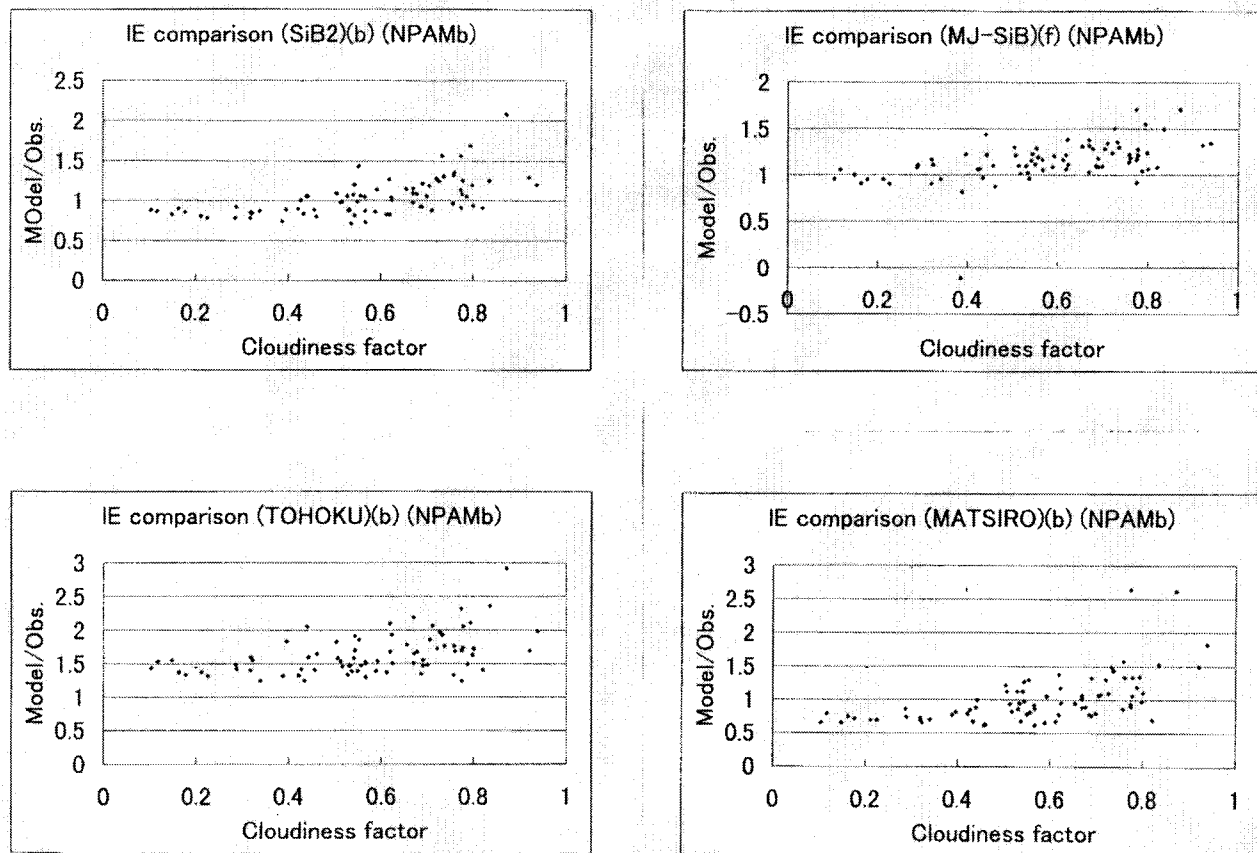


図3：NPAMにおける4モデルのIEのf-R図。