

多様な農耕地の影響を考慮した中国淮河流域における 水・熱収支推定に関する研究

甲山 治*・田中 賢治・池淵 周一

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

本研究では、陸面過程モデル (SiBUC) を用いて HUBEX-IOP 期間 (1998/5/1-8/31) について中国淮河流域の水・熱収支を計算する。モデル実行時に必要な気象強制力データセットは、GAME-HUBEX プロジェクトの集中観測期間 (HUBEX-IOP) で取得された地上気象・水文データから作成された。また日射量に関しては、GMS データを併用して改善を行った。次に安徽省の農業形態を参考にし、領域内に存在するすべての農耕地を4つ (1期作水田, 2期作水田, 冬小麦+夏大豆, 冬小麦+夏とうもろこし) に分類した。また中国全土の農業需水量データから淮河流域に関係の深いものを選び出し、農耕地ごとに生育段階に応じた最適水深, 土壌水分を設定した。数値シミュレーションではこの最適条件を満足するように給水排水量が決定される。灌漑により土壌水分が一定以上に保たれており、かつ日射量が多いため、北部の畑作地帯においては南部の稲作地帯以上に潜熱が大きいことが明らかになった。

キーワード：陸面過程モデル, GMS データ, 土地利用判別, 灌漑用水

1. 序論

大気・陸面間の水・熱フラックスの交換は、数値気象予測にとって非常に重要なものであり、現在多くの研究がなされている。それらの研究成果から水・熱フラックスの交換には、地表面状態の違いが大きく影響することが知られている。例えば陸面が太陽や大気からの放射にともなって受け取るエネルギーは、地表面のアルベドに大きく左右される。また地表面フラックスは地表面被覆タイプ (植生, 水体など) や地表面の水文状態 (土壌水分量, 雪の有無など) によって影響される。

陸面において水・熱循環に関わる全ての事象を考慮し、目的に応じて表現するモデルを陸面過程モデルといい、現在開発が進んでいる。陸面過程モデルの特徴としては、対象とする地表面が様でなく複雑である事が挙げられる。また地表面は生物が活動

している生物圏であるため、植物をはじめとした生物の生理的活動や人間活動が地表面に及ぼす影響までも考慮する必要がある。それら地表面の特性をふまえ、植物の生理的機構に着目したモデルとして SiB (Simple Biosphere), それに加え陸面の不均一性 (複数の植生, 都市, 水体) を表現した SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy) (田中ら, 1994) 等があり、現在開発が進められている。

本研究では、GAME-HUBEX プロジェクトの集中観測期間 (HUBEX-IOP) で取得された気象・水文観測データを用いて、時・空間的に均質な気象メッシュデータセットを作成する。作成されるデータセットは、陸面過程モデルによる陸面データ同化 (Land Data Assimilation) のための気象強制力として使用するばかりでなく、大気-陸面結合モデル (JSM-SiBUC) (田中ら, 1998) による領域 4DDA の検証用

としても有効である。さらにこのメッシュデータを気象強制力として、陸面過程モデル (SiBUC) を実行し、淮河流域の水・熱収支を算定する。そしてその結果ふまえ、衛星データを利用した雨量・日射量メッシュデータの改善と土地被覆データ判別を行う。さらには対象流域における農作物の需水量データから土地利用ごとの灌漑用水量を推定し、灌漑用水量のモデルへの適用を行う。そして以上の成果を陸面過程モデルに適用し、精度の高い淮河流域内の水・熱収支推定を行うことが本研究の目標である。

2. HUBEX プロジェクトと観測体制

2.1 HUBEX プロジェクトの目的

GEWEX(全球水・エネルギー循環観測実験)のもとで展開されている大陸スケール観測プロジェクトの1つとして、アジアモンスーン域を対象としたGAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) の集中観測がすでに実施された。GAMEの目的は、各気候帯毎の気象・水文・フラックス観測、プロセス研究、大気陸面結合モデル開発等を通じて、アジアモンスーンの変動とその大陸スケールエネルギー・水循環との関係を深く理解することである。IOP (Intensive Observation Period) と呼ばれる集中観測期間には各地で、多種多量の貴重なデータが取得され精力的に解析が進められている。

HUBEX (Huaihe Basin Experiment) は、中国淮河流域で亜熱帯前線帯が停滞して甚大な水害をもたらしてきた事を踏まえて、

1. 集中観測と4次元データ同化による淮河流域とその周辺域 (Fig. 1) の高精度の気象・水文データベースの構築
2. 梅雨前線にともなうメソスケール雲・降水システムのエネルギー・水循環過程の理解
3. メソスケール気象-水文結合モデルによる洪水予測手法の開発

等を中心的課題として進められており (武田・坪木,1996)、それぞれの地域における熱・水蒸気フラックスの日変化、季節変化を定量的に評価する事は、GEWEX/GAMEの共通課題である。

この地域で特筆すべき事は、水田、畑地、森林、水体などがパッチ状に存在し、地表面条件が非常に多様であるとともに、水田、畑地などの耕作地が流域の大部分を占めていることである (Fig. 2)。したがってこの地域では、各種土地利用における熱・水蒸気フラックスの詳細な観測を行うことはもとより、河川からの取水や灌漑などの人為的操作・水管理に関する情報を取得することも非常に重要となる。

2.2 HUBEX プロジェクトの観測体制

(1) 観測対象領域

流域の地形や既存の気象・水文観測網を考慮して、寿県 (E116.77,N32.58) を取り囲む $140 \times 150 \text{ km}^2$ のメソ γ スケールの集中観測領域が設定されている。また梅雨期の異なる時・空間スケールの雲・降水システムの相互作用を理解するために、メソ β, α スケールの観測領域が γ スケール領域の外側に設定されている (Fig. 1)。メソ β スケール領域の境界は淮河流域内の高層観測網 (南京、青島、済南等) で、約 $700 \times 500 \text{ km}^2$ の領域である。メソ α スケール領域は E110-122, N28-40 で、約 $1200 \times 1500 \text{ km}^2$ である。

淮河流域南部の山岳領域の水文・気象特性を得るために、Jiangji を下流端とする史灌流域 (流域面積 5930 km^2) で水文観測が実施された。史灌流域の上流部には2つの大きなダム (梅山、鮎魚山) があり、2つのダムの集水域の合計は $2,894 \text{ km}^2$ である。

(2) 観測体制

地上気象観測点は16の省にまたがる150地点である。IFO期間 (1998/5/1~8/31) には1日4回、IOP期間 (1998/6/11~7/23) にはメソ γ スケール領域内の12地点で1日24回 (毎時) 観測が実施された。観測項目は気温、気圧、湿度、風向、風速、雨量、日照時間等の19要素である。さらにメソ γ 領域内に48の雨量計を増設し、毎時雨量データが取得された。ここでIFO(Intensive Focus Observation) 期間とは4ヵ月に渡って集中的に観測を行う期間のことで、IOP期間とは42日間の特別に梅雨前線を観測する期間である。また史灌流域で実施された水文観測の内容は毎時雨量 (48地点)、日蒸発量 (3地点)、河川水位・流量 (3地点、1日8回)、ダム放流量・貯水位 (2地点、1日8回) 日流量 (7地点)、土壤水分 (3地点、1日1回、6深度) である。

(3) フラックス観測

京都大学の熱収支観測システム (KU-AWS) を用いて、水文試験流域である史灌流域で陸面過程の集中観測 (田中ら,1999) が実行された。この集中観測の主な目的は次の通りである。

1. 流域の熱・水蒸気フラックスの日変化、日々変化、季節変化を理解する
2. 陸面過程モデル (SiBUC) のパラメータセットを各土地利用毎に調整する (キャリブレーション)
3. 衛星リモートセンシングのグラントルースデータを取得する

移動観測により SiBUC モデルのキャリブレーションができれば、地上気象データをモデルに与えて各種土地利用のフラックスを計算できる。ただし現在

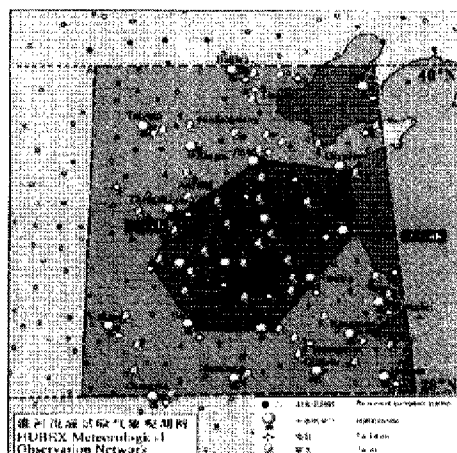


Fig. 1 Study area of GAME-HUBEX

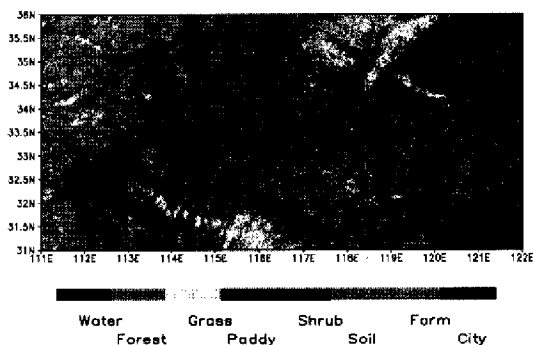


Fig. 2 Land-use map of GAME-HUBEX

のところは一般的な植生・土壌パラメータを用いており、移動観測の情報はモデル内に反映させていない。さらに、NOAA-AVHRR から求められた土地利用図 (Fig. 2) を用いれば、SiBUC モデルを淮河流域全体に適用することができ、陸面からの熱・水蒸気フラックスの日変化、日々変化、季節変化の平均値や流域内の分布を計算することが可能になる。

3. メッシュデータの作成と水・熱収支推定

3.1 陸面過程モデル (SiBUC) の概要

(1) 地表面要素と面積率

SiBUC モデルでは 1 つのグリッド領域は 3 つの土地利用カテゴリと 6 つの構成要素に分かれている (田中ら, 1994)。

- 緑地 (植物キャノピー, 地面)
- 都市域 (屋根面, 壁面, 路面)
- 水体

これら 3 つの土地利用の熱収支特性は全く異なり、いかなる方法をもってしても集約化できないため、熱・水フラックスを精度良く算定するには、少なくともこれら 3 つの土地利用を扱わねばならない。

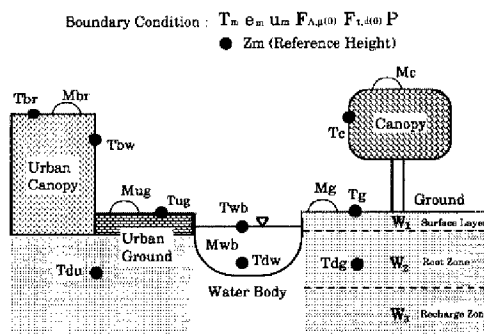


Fig. 3 Prognostic and forcing variables for SiBUC

これらの土地利用の面積率 (V_{ga}, V_{ua}, V_{wb}) とキャノピーカバー率 (V_c, V_{uc}) を各グリッドに与える。

$$V_{ga} + V_{ua} + V_{wb} = 1 \quad V_c, V_{uc} \leq 1 \quad (1)$$

土地利用カテゴリの数はモデルの目的 (必要とされる精度) に依存して決定すれば良い。例えば 1 つのグリッド内の 2 種類の植生 (例えば森林と草) をともに表現する必要がある場合には、緑地を 2 つに分け、それぞれの緑地に関して計算を実行すれば良いが、3 つの土地利用と 6 つの構成要素が SiBUC の基本設定となる。SiBUC の大気境界条件と予報変数を Fig. 3 に示す。

(2) 予報変数

SiBUC では緑地に加え、都市、水体に関する状態量も予報する (カテゴリ毎に状態量が必要)。

- 表面温度: 植物 (T_c), 地面 (T_g), 水面 (T_{wb}), 屋根面 (T_{br}), 壁面 (T_{bw}), 路面 (T_{ug})
- 地中温度: 緑地 (T_{dg}), 水体 (T_{dw}), 都市域 (T_{du})
- 遮断水分量: 植物 (M_c), 地面 (M_g), 屋根 (M_{br}), 道路 (M_{ug})
- 土壌水分: 表層 (W_1), 根層 (W_2), 再補給層 (W_3)

(3) 大気境界条件

SiBUC に必要な大気境界条件は SiB と同じである。ただし、多くの場合、短波放射フラックスの 4 成分は得られないので、SiBUC には短波放射を 4 成分に分解するサブルーチンも含まれている。

- 大気境界層内の参照レベル (z_m) における気温 (T_m), 水蒸気圧 (e_m), 風速 (u_m)
- 短波放射フラックス 4 成分 ($F_{\lambda, \mu(0)}$) 可視 (直達, 散乱), 近赤外 (直達, 散乱)
- 長波放射フラックス ($F_{r, d(0)}$)
- 降水強度 (P)

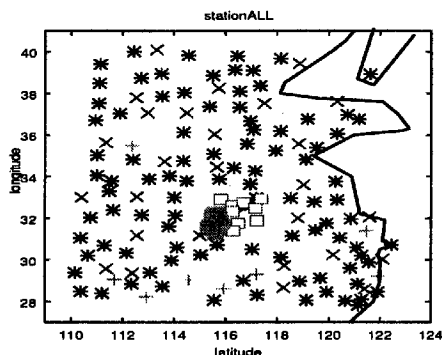


Fig. 4 Location of meteorological(146) and hydrological(48) stations in HUBEX

3.2 解析に用いた地上気象データ

本研究では IOP (Intensive Observation Period) 期間中 (1998/5/1~8/31) の地上気象観測点の気温、気圧、風速、風向、水蒸気圧、日照、降水の各気象要素に加え、淮河水利委員会が実施した史灌流域内 48 地点 (Fig. 4 の■印) の毎時雨量データも使用した。これらは HUBEX データセンターに収録されており、2001 年 8 月に一般公開された。なお、雨量については淮河上流部のデータが不足していたので約 200 地点の日データを別途購入した。

Table 1 Number of observation per 1 day for each item

symbol (number)	× (28)	+	※ (98)	□ (11)
air pressure	24	8	4	4or24
air temperature	24	8	4	4or24
vapor pressure	24	8	4	4or24
wind velocity	24	8	4	4or24
sunshine	1	1	1	1
rainfall	2	2	2	2

3.3 メッシュデータの作成

HUBEX では 146 地点の地上気象データが収集されたが、その多くは毎時観測点ではない。そこで、毎時観測点のデータを空間的に内挿して毎 3 時間、毎 6 時間観測点では計測していなかった時間のデータを推定し、これらの観測点を空間もしくは時間内挿で毎時観測点相当のデータに引き上げることを試みる (Fig. 5)。すなわち、空間内挿でメッシュデータを作り出す前に、その内挿の基準となる観測点の数を増やすことを行なった。ただし、気圧や気温については標高依存性が高いので、海面高度相当の値に落としてから、空間内挿を行なった。また気圧センサーの器差の影響がデータに現れていることが確認されたので、各ステーション毎に 4ヶ月間の平均値を計算し、ステーション毎の各データを平均値か

らの偏差とした。

(1) 空間的内挿 (ステーションの数)

毎 3 時間観測のステーションから毎時観測の各ステーションまでの距離をそれぞれ求め、距離の近い順に 3, 4, 5, 6, 7 個のステーションを選び出し、距離の 1 乗もしくは 2 乗に反比例させた重みでデータを内挿した。データの存在する時刻については真値がわかっているので、内挿の精度を標準誤差で評価する。その一例として気圧データの内挿の精度を Table 2 に示す。

$$\text{標準誤差の式 } \sigma = \left\{ \frac{\sum (x - \hat{x})^2}{N} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots \dots (2)$$

ここに x は元データ値、 $\hat{x}$ は内挿を用いて求めたデータ値、 N はデータの個数である。

Table 2 より、内挿に使用するステーションの数が多いほど精度が下がる傾向がある。すなわち遠くのステーションのデータを使用しない方が良いことがわかる。また内挿の重みについては、距離の 1 乗に比べ 2 乗に反比例させる方が誤差は小さくなる。

Table 2 Interpolation error according to the number of used station (air pressure)

No.	3	4	5	6	7
1st	0.797	0.819	0.859	0.832	0.877
2nd	0.781	0.785	0.800	0.773	0.787

(2) 空間的内挿 (方向性の検討)

前節の結果では近くに存在する 3 つ程度のステーションのデータのみを使用した方が内挿の精度が高くなる場合が多いことが示された。しかし、ステーションによっては 4 つ目、5 つ目のデータを使用すると精度が向上する。このようなステーションを調べたところ、その周りに存在する毎時ステーションの分布の仕方に特徴があることが判明した。前節のような従来の手法では、周りの点の距離だけを使用しており、ステーション間相互の位置関係は考慮されていない。本研究では、様々な内挿方法について検討したが、ここではいずれの点においても内挿されたデータに大きな誤差が生じず、全体としての相対誤差も比較的小さくなる手法を紹介する。

内挿されるステーション (データが欲しい点) を s_0 、内挿に使用するステーション (データが存在する点) を s_0 から近い順に s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 と決定する。最も近くの 2 点 (s_1 と s_2) は無条件で内挿に使用する。そして、 $s_3 \sim s_0$ 間の距離が $s_3 \sim s_1$ 間、 $s_3 \sim s_2$ 間のそれぞれの距離よりも近ければ (3 区間の距離の

Table 3 Selected interpolation method and number of stations

item	SV1	SV2	Spatial(1st)	Spatial(2nd)	temporal	RSV1	RSV2
air pressure	0.2638	0.5941	63	5	38	0.00796	0.01795
air temperature	0.5674	1.1197	22	13	73	0.01796	0.03543
wind speed	1.0181	1.1468	10	0	88	0.06787	0.07645
vapor pressure	0.8035	1.0849	0	0	106	0.02296	0.03100

SV1: Standard Value 1 (基準値 1), RSV1: Relative Standard Value 1 (相対基準値 1)

SV2: Standard Value 2 (基準値 2), RSV2: Relative Standard Value 2 (相対基準値 2)

中で1番近ければ)s3を内挿のステーションに使用し、s3~s0の距離が残りの2つよりも近くなければ(2つのどちらかよりも遠ければ)使わないこととする。内挿に使用できる範囲を図示したものをFig. 6に示す。以下順にs4, s5についてFig. 6の斜線で塗りつぶされた範囲内に合致するステーションを検索する。なお、s5も合致しない場合には、s1とs2の2つのみで内挿する。ただし、方向性を考慮する場合には、重みは距離の1乗に反比例させる方が結果が良かった。

(3) 空間、時間的挿入の比較

前章のように方向性を考慮した空間内挿をするよりも、むしろその観測点における他の時刻のデータから単純に時間内挿をした場合に精度が高くなる地点が存在する。そこで、以下の手順で各ステーションに対して空間内挿が適しているのか時間内挿が適しているのかを判断し、観測していない時刻のデータをいずれかの方法で補完した。

1. 毎時観測点において毎3時間観測相当のデータをサンプリングし、時間方向に線形内挿する。全ステーションの標準誤差の平均を基準値1とする。
2. 同様に毎6時間観測の場合について時間内挿の標準誤差を基準値2とする。
3. 毎3時間観測点において、観測データが存在している時刻のデータを周りのデータから空間内挿で推定する。この推定誤差が基準値1よりも小さければ、空間内挿に適している点と判断し、観測していない時刻のデータを空間内挿で求め、毎時データを作成する。
4. 毎6時間観測点については基準値2をもとに空間内挿に適している点について空間内挿から毎時データを作成する。
5. 3., 4. で空間内挿で求められた毎時データをもつステーションも加え、もう一度残りのステーションに対して空間内挿を試みる。
6. 5. においても空間内挿に適していないと判断されたステーションについては時間内挿を実施す

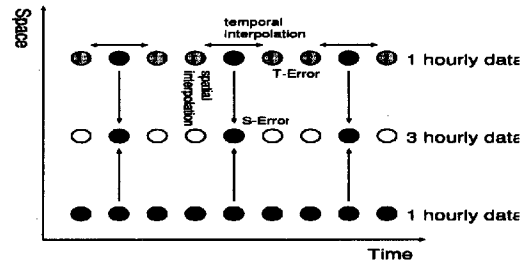


Fig. 5 Comparison of spatial and temporal interpolation error

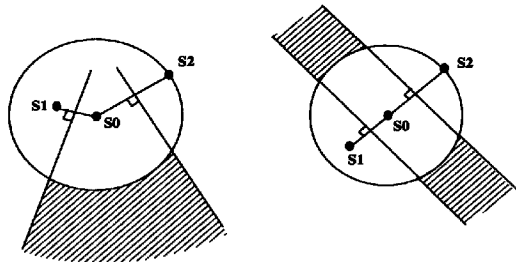


Fig. 6 Existence area of third station to be used for spatial interpolation

る。この時点で全146ステーションに毎時データが存在する。

このような空間内挿と時間内挿の精度評価の手法をFig. 5に示し、また毎時データ作成作業の結果をTable 3にまとめる。なお、各気象要素間の比較のために、各要素毎の同一地点での4ヵ月間のデータの変動幅の最大値で基準値を割ったものを相対基準値と定義している。

SV1,2は基準値1,2を、RSV1とRSV2は相対基準値1,2を表している。またSpatial(1st),(2nd)はそれぞれ1回目、2回目の空間内挿によって毎時データが作成されたステーションの個数、temporalは空間内挿では精度が悪く時間内挿によって作成されたステーションの個数である。したがってTable 3の各気象要素は上から順に空間内挿に適していることを示している。気圧が時間内挿においても精度が高く、風速は時間変動が激しく時間内挿が困難であることがわかる。

気圧において空間内挿できなかった38地点の特徴を調べると、標高が高い地点、外挿の地点が多くみ

られた。また、内挿の場合でも使用したステーションの距離が離れている地点は精度が良くなかった。

(4) 長波および短波放射フラックスの作成

一般に、短波、長波の放射フラックスを観測しているステーションはほとんどなく、他の気象要素から推定しなければならない。Table 3.2 で示した通り、全ての観測点において、日射量推定に用いる日照のデータは時間値ではなく、日積算値である。陸面モデルを駆動するには日平均ではなく、時間値が望ましいので、近藤(近藤ら,1991)の方法により、観測地点の緯度と日付、日照時間から、可照時間と日射量(下向き短波放射)の時間値を推定する。

- 入力：緯度、Day Of Year、時刻、日照時間(日積算)
- 出力：可照時間、日射量(瞬時値)

さらに、気温、水蒸気圧、日照時間及び求めた可照時間から、大気放射量(下向き長波放射)の日平均値を推定する。大気放射量の日較差は小さいため、そのまま時間値として用いる。

- 入力：気温(日平均)、水蒸気圧(日平均)、日照時間、可照時間
- 出力：大気放射量(日平均)、露点

なお、日射、大気放射とも雲の影響を受けるが、放射フラックスの推定は日平均がベースである。この問題は雨量にも言えて、流域内の大部分のデータは12時間積算または1日積算雨量である。

(5) メッシュデータ

前章で用意した流域内146地点の毎時データおよび毎時相当データをもとに、方向性も考慮した方法で空間内挿によりメッシュデータを作成する。淮河流域内で2つのスケールでデータセットを作成する。

- 淮河流域
範囲：E111.0-E122.0, N31.0-36.0
分解能：5分メッシュ(約10km)
- 史灌流域
範囲：E115.0-E116.2, N31.2-32.4
分解能：30秒メッシュ(約1km)

3.4 標高メッシュデータ

標高データとしてはNGDCが作成した全球30秒メッシュ標高データ(GLOBE)と全球5分メッシュ標高データ(GTOPO5)が利用できる。これら2種類の標高データを流域のメッシュ情報として利用する前に、各気象観測所の標高情報と比較してデータの精度を検討した。いずれの場合もそのメッシュの平均標高であるため、観測所の標高と完全に一致することはないが、HUBEX領域に関してはGTOPO5

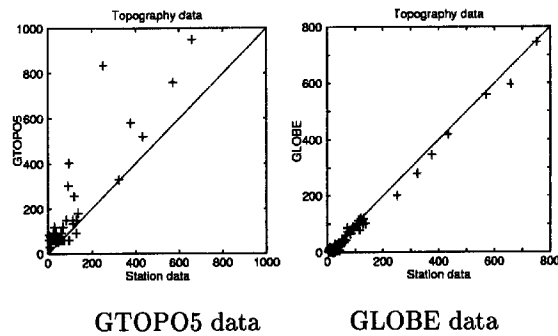


Fig. 7 Comparison of station's height with GTOPO5 and GLOBE data

に比べ、GLOBEでは十分な対応性があることから(Fig. 7 参照)、本研究で扱う領域に関しては5分メッシュの場合にもGTOPO5を使用せず、GLOBEの100個のデータを平均してデータを作成した。

(1) フラックス集中観測データとの比較

史灌流域内の4地点で実施したフラックス集中観測では、気象要素も収録している。これらのデータを空間内挿で求められた解析値と比較した。一例として、春季の畑地における比較結果(上から気温、水蒸気圧、風速、気圧、日射、大気放射)をFig. 8に示す。

- 畑地(春季5/10~5/18), (夏季8/8~8/15)
- 水田(春季5/18~5/24), (夏季8/17~8/21)
- 森林(春季5/25~5/29), (夏季8/22~8/27)
- 水体(夏季8/28~8/31)

気温、水蒸気圧については畑地で最も対応が良く、水田、森林においても良好であった。水体では夏季観測の後半に水蒸気圧の実データが解析値を大きく下回るところがあった。その時の風がほとんどないことから判断すると、水体の観測はダム湖に浮かべた船の上で行われたため、船自身の影響を大きく受けたと考えられる。

風速については春季の畑地や夏季の森林では多少の対応性があったが、全体として他の要素のような対応性はなかった。理由として畑地、水田では地表面からの観測位置がステーションデータの観測位置より低く、森林では小高い丘の上で観測されたことが原因であると推測される。また、水体ではダム湖による湖陸風の影響が解析データとの差異を生み出していると言える。

日射量については観測所で得られたステーションデータが日積算であるので、日内の微妙な変化を表現できていない。また、大気放射量も日平均値しか求めることが出来なく、その値もやや大きめの値をとった。これらの点に関してはGMSデータも併用して改善していきたい。

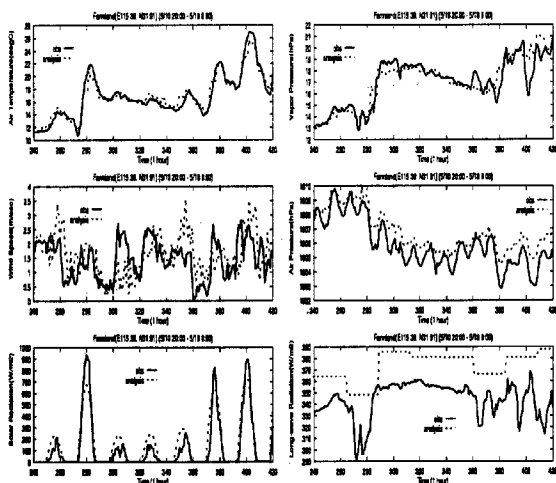


Fig. 8 Comparison of analyzed(interpolated) value with field measurement (spring)

3.5 初期値・パラメータ設定

(1) 初期値

状態量の初期値については全てのグリッドに対して同等の取り扱いをしており、データ同化は行っていない。シミュレーション開始時刻は現地時刻で21:00である。まず温度に関しては表面温度 ($T_c, T_g, T_{wb}, T_{br}, T_{bw}, T_{ug}$) は気温 (T_m) と同じ値に、地中温度 (T_{dg}, T_{dw}, T_{du}) は気温より2度高く設定した。

土壌水分の初期化は重要な課題であり、現在取り組んでいるところである(田中ら,1998)。本研究では、全てのグリッドに対して表層の水分ポテンシャル (ψ_1) を-20mに、鉛直プロファイルを線形で与えた。植物の気孔抵抗に対して水分ストレスがかかり始めるのが-100mであるため、十分に湿った条件での初期値ということになる。

(2) 地表面パラメータ

土地利用／植生タイプの情報として USGS(U.S. Geological Survey) のサイトからデータを取得した。土地利用分類データは NOAA-AVHRR データをもとに求められたもので、全球を30秒(約1km)の分解能でカバーしており、用途に応じて6種類のデータが存在する。そのうち「水田」と「畑」を別々の植生分類として含む3種類のデータについて比較検討した結果、Global Ecosystems による植生分類データを利用することにした。植生データによって土層の厚さやカバー率など、キャノピーに関するパラメータが決定される。植生タイプでは水田が6割以上を占めており(他のデータセットも同様)、現地の様子と比較すれば、水田の面積が多めに出ている。このことは淮河流域では灌漑設備が発達しており、よく灌漑された畑と水田を AVHRR のデータか

ら区別するのが困難であることを示している

また土壌タイプの情報としては、FAO の Digital Soil Map of the World のデータ(5分メッシュ)を使用した。本研究では砂、ローム、シルトの構成比から、14種に再分類したデータセットを作成した。淮河流域について、モデルで使用した植生分類の構成比率を Table 4 に、土壌タイプの構成比率を Table 5 にまとめる。ただし、淮河流域に存在しない要素は省略している。土壌タイプによって間隙率が異なり、したがって透水係数や蒸発抑制が起こる土壌水分の値にも影響する。土壌タイプは大部分が clay または clay loam であり、保水性が高い。

また本研究では1998年の5月から8月の4ヶ月(123日)間の計算をするので、時間変化するパラメータとして植生指標 NDVI を与え、NDVI から葉面積指数 LAI を計算する。このデータは AVHRR の10日間の合成データであるが、それでもなお梅雨期には雲の影響が残っている。そこでこの期間に LAI は減少しないと仮定して、各メッシュ毎にその時点での最大値を採用した。

Table 4 Fraction of each vegetation type

	vegetation type	fraction (%)
0	water	16.1
2	deciduous broad leaf forest	5.6
3	mixed forest	1.13
6	grassland	3.64
8	paddy field	60.57
9	shrub	3.94
12	farmland	8.29
16	urbanized	0.33

Table 5 Fraction of each soil type

	soil type	fraction (%)
2	sandy loam	4.70
4	clay loam	23.96
5	clay	56.16
8	water	15.18

3.6 水・熱収支推定

(1) 熱収支推定

以上のような手順で作成した気象メッシュデータを SiBUC に与え、1時間間隔で123日分の計算を実行した結果、10日平均値で見て山岳域で潜熱が負の値を示した。これは Forcing data に使用した水蒸気圧の値が実際よりも高いことが原因である。

メッシュデータ作成上で空間内挿の際に、水蒸気圧に関しては標高依存性を考慮していなかった。このため、低平地の値をもとに内挿された値は飽和水蒸気圧以上に高く(湿度100%以上)計算されていることが判明した。そこで、水蒸気圧に関しては湿度に変換してから(気象台のデータは水蒸気圧)空

間内挿を行い、最後に水蒸気圧に戻すという作業を行った。こうすることにより湿度 100% 以上となることはなくなるが、実際よりもやや低めの値をとる傾向が見られた。

Fig. 9 は改良した気象メッシュデータを SiBUC に与えた計算結果であり、4 種の土地利用 (それぞれ水田、森林、畑地、湖面が卓越する $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の領域) における熱収支 (純放射、潜熱、顕熱) の日平均値の時系列を示す。畑地の熱収支では、6/20 頃までは潜熱が顕熱よりも大きく、6/26 には潜熱と顕熱が逆転する。これは土壌水分が減少したためであるが、再び 7 月 5 日の降水で土壌水分が回復して、以降は 8 月末まで潜熱が顕熱を上回っている。ただしこれは初期値において土壌水分を十分に与えた結果であり、初期の土壌水分が少なければ、潜熱と顕熱の入れ替わるタイミングなど、熱収支の時系列は違ったものとなる。またこの計算では灌漑による水分を考慮していないため、降水がない期間には土壌水分は蒸発散により失われる一方である。

これ以上の議論はこのモデルだけでは限界であり、他の衛星データによる地表面温度や土壌水分の推定値の時系列、GAME 再解析データ等の解析値から推定される蒸発散量、陸面過程モデルと河川流出モデルとの結合モデルで得られる流量等 (立川ら, 2000) を比較・検討しながら、それぞれの結果に矛盾がないような結論を導き出すべきである。

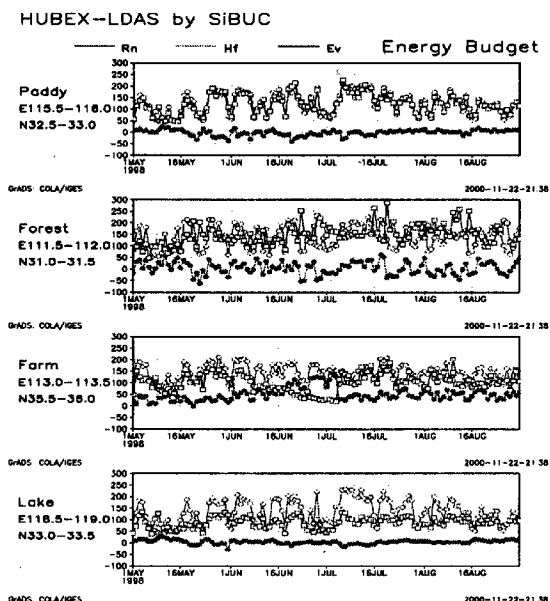


Fig. 9 Time series of daily mean energy budget at four landuse (1998/5/1-8/31)

(2) 水収支推定

蚌埠上流域 (121330km^2) において、SiBUC を用いて算出した水収支解析の結果を **Fig. 10** に示す。これは対象流域にあるグリッドごとのアウトプットを足し合わせたもので、流出にかかる時間の影響 (河道の効果) は考慮されていない。対象期間は 1998 年 5 月 1 日から 8 月 31 日である。Fig. 10 から、SiBUC で算出された流出量が実際の観測値より少ないことが分かる。また算出された蒸発散量も実際の値より多いはずである。蒸発散量 (潜熱フラックス) を過大に算出した理由として、以下のようなことが挙げられる。

1. 雨量データ

解析に使用した雨量データの大部分は 12 時間又は日積算の値であるため、降水強度が実際の降雨よりも弱く算定されている。またこのことは遮断蒸発量の過大評価につながる。

2. 土地利用データ

用いたデータセットでは水田と畑地を区別しているが、水田の土地利用比率が 60% 以上と実際より過大に見積もられている。

3. 基底流出

モデルの出力結果より、表面流出量は十分もしくは過剰であることが分かった。流出量の不足は基底流出の不足が原因である。基底流出はグリッドの平均勾配と透水係数で決定される。

なお、本研究で使用したモデルパラメータはフラックス集中観測データ (田中ら, 1999) を用いて熱収支の日変化の再現性を重視して設定されたものであり、水収支に関するパラメータ (土壌関係のパラメータ) の調整は行っていない。土壌パラメータを変更すると流出量が変わる。その結果土壌水分が変化し、蒸発散量にも影響することになる。このことから、熱収支だけでなく長期間の水収支も考慮しながらパラメータを設定する必要があると言える。

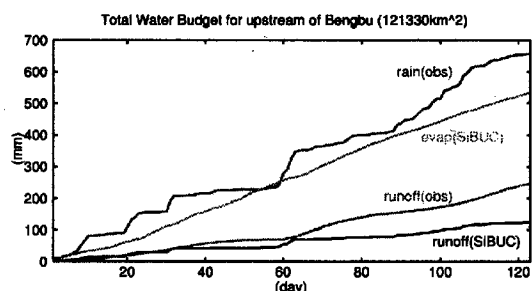


Fig. 10 Water budget in the upstream area of Bengbu (accumulated rainfall, evapotranspiration, runoff)

4. GMS5 データを用いたメッシュデータの改善

3.3 では、時・空間的に均質な気象メッシュデータセットを、淮河流域内において2つのスケールで作成した。しかし地上観測データのみを用いたため、元データがそれぞれ12時間積算、日積算である雨量・日射量では日内の微妙な変化を表現できていないなどの問題点があった。そこでより精度の高い水・熱収支を行うために、雨量と日射量メッシュデータの改善を試みた。

4.1 GMS5 を用いた雨量データの改善

雨量データについては、12時間積算の観測データと毎時間の衛星画像を併用して、毎時間メッシュデータの推定精度を向上させる手法を検討する。これまでもニューラルネットワークの手法を用いて、GMS5の各チャンネル(IR1,IR2,IR3,VIS)と観測された降水強度の関係を調べたが、GMSデータだけでは実際に降雨現象があったときと降雨現象の可能性は高いが雨が降らなかった時の判別が難しく、明確な関連性を見つけることはできなかった。

衛星画像を用いて降水強度を推定する研究は多くの人によってなされているが、いずれの研究においても短期間、小さなメッシュにおける雨量推定は確立されていない(Petty,1995)。したがって本研究では現在のところ、GMS画像から雲が存在する可能性が高い時刻にのみ雨量を均等に配分している。その判断基準は以下の通りである。

$$IR1 \leq 273K \quad \text{or} \quad VIS \geq 50\% \quad \dots\dots (3)$$

雲がかかっている場合でも降水があるとは限らないが、少なくとも雲がない場合には降水はないので、データセットが多少改善されると考えられる。今後は対象期間内に現地で行われたレーダー観測データが手に入り次第、新たに雨量メッシュデータを作成する。

4.2 GMS5 を用いた日射量データの改善

日射量データについては、水蒸気圧メッシュデータ、ゾンデデータと毎時間の衛星画像を併用して、毎時間メッシュデータの推定精度を向上させる手法を検討おこなった。そこで日射量データの精度を、物理モデルと衛星画像 GMS5 を用いて改善することを行った。

(1) 適用したモデル

本研究ではGautierによって開発された物理モデルを用いた(Gautier,1980)。モデルの特徴としては以下のことが挙げられる。

1. 可視画像(VIS)と地表面の露点温度のみを用いる

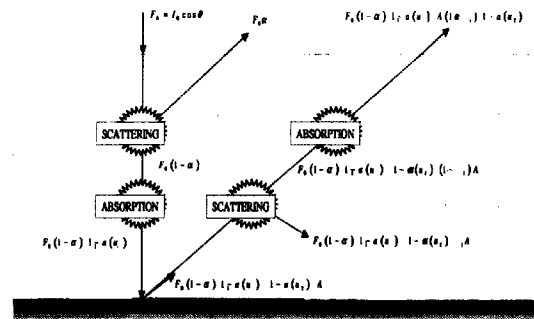


Fig. 11 Schematic image of Clear-air model

2. 地表面や雲のアルベドは逆算により求める
3. 雲を考慮しないモデル(晴天モデル, Fig. 11 参照)と雲を考慮したモデル(曇天モデル)を使い分けている

(2) 日射量推定の手法

・地表面アルベドの推定

地表面アルベドは適用期間内では不変であると仮定する。したがって、同一時刻(天頂角の影響をうけなくするため)での雲や大気による影響が無いときの地表面のアルベドを晴天モデルを用いて推定する。

1. 露点温度から可降水量を求める。
2. 可降水量から、大気中の水蒸気による入射光、反射光それぞれの吸収係数($a(u_1), a(u_2)$)を求める。
3. 天頂角(θ)から大気による入射光、反射光それぞれの散乱係数(α_1, α)を求める。
4. 可視画像(VIS)の輝度(%)を晴天モデルの式(式(6))に適用し、地表面のアルベド(A)を逆算する。
5. 4.で得られたアルベドのうち同位置で最も低い値を、実際の(雲の無いときの)地表面アルベドとして決定する。

以上のようにして対象地域の地表面アルベドを求める。使用する式と記号を以下に記す。

SW ↑ ; 上向き短波放射フラックス (Wm^{-2})

SW ↓ ; 下向き短波放射フラックス (Wm^{-2})

F_0 ; 大気上端から入射する短波放射フラックス

$$VIS = SW \uparrow / F_0 \times 100 \quad \dots\dots (4)$$

$$SW \uparrow = F_0 \alpha + F_0 (1 - \alpha) [1 - a(u_1)] \quad \dots (5)$$

$$\times [1 - a(u_2)] (1 - \alpha_1) \cdot A$$

$$A = \frac{SW \uparrow - F_0 \alpha}{F_0 (1 - \alpha) [1 - a(u_1)] \cdot [1 - a(u_2)] (1 - \alpha_1)} \quad (6)$$

・雲アルベドの推定

1. また雲よりも上部に存在する水蒸気量は全体の30%、下部の水蒸気量は全体の70%と仮定し、入射光、反射光の上部、下部それぞれの吸収係数($a(u_1)_t, a(u_1)_b, a(u_2)_t, a(u_2)_b$)を求める。
2. VISが基準値未満のときは雲が無いとして晴天モデルを適用し、式(8)より日射量を推定する。
3. VISが基準値以上のときは曇天モデルを適用する。可視画像(VIS)の輝度(%)を曇天モデルの式(式(7))に適用し、雲上端のアルベド(A_c)を逆算する。
4. 雲上端の反射率(A_c)に係数をかけて、雲の吸収率(a_c)を決定する。
5. 4.で得られた雲アルベドを曇天モデルに適用し、式(9)より日射量を推定する。

$$SW \uparrow = F_0 \alpha + F_0 (1 - \alpha) [1 - a(u_1)_t] \cdots (7)$$

$$\begin{aligned} & \times (1 - \alpha_1) A_c [1 - a(u_2)_t] + F_0 (1 - \alpha) \\ & \times [1 - a(u_1)_t] (1 - A_c - a_c)^2 [1 - a(u_1)_b] \\ & \times A (1 - \alpha_1) [1 - a(u_2)_t] [1 - a(u_2)_b] \end{aligned}$$

・日射量推定の式

- 晴天モデルの式

$$SW \downarrow = F_0 (1 - \alpha) [1 - a(u_1)] (1 + A \alpha_1) \quad (8)$$

- 曇天モデルの式

$$SW \downarrow = F_0 (1 - \alpha) [1 - a(u_1)_t] \cdots \cdots (9) \\ \times (1 - A_c - a_c) [1 - a(u_1)_b]$$

4.3 モデルの検証

GAME-HUBEX 全体に適用する前に、用いたモデルの検証を行った。解析対象地域と解析に使用したデータは以下のとおりである。

- 適用地域：安徽省寿県 (E116.77, N32.58)
- 解析対象期間：6/3(DOY=154)~6/29(DOY=173)
- 入力データ：GMS5の可視画像(VIS)(解像度：約10km)、地表面の露点温度
- 検証データ：入力値の同時刻に対応する1時間積算の日射量

適用結果のうち、解析対象期間内の全ての解析値を縦軸に、観測値を横軸に取ったプロットと、観測値との標準誤差(RMSE)をFig. 14 中図に示す。全体として午前中は大きく午後は小さく推定され、日積算の値も若干大きな値をとる傾向が見られた。期間を通してのRMSEは91.8(Wm^{-2})程度であった。

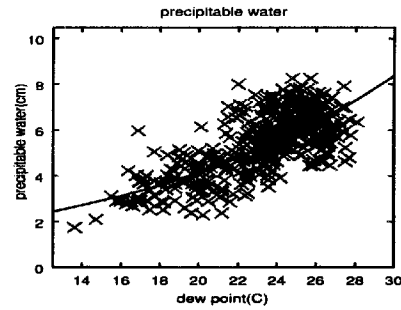


Fig. 12 Comparison between estimated value (black line) and sonde value(x)

(1) 可降水量データの検証

・ゾンデデータの利用

上記のモデルでは、地表面の水蒸気圧から推定式を用いて可降水量を計算し、大気中の水蒸気による日射量の減衰を決定した。一方、対象領域においてはゾンデのデータが利用できることから、関係式の妥当性を調べた(Fig. 12 参照)。ゾンデの観測期間は6/1~7/31、観測回数は1日2回(0,12時)。ただしIOP期間の6/11~7/22には7つの観測所で1日4回(0,6,12,18時)の観測が行われた。

・ゾンデデータのモデルへの適用

寿県から近い3つのステーションから重みが距離に反比例するように空間内挿し、観測されていない時間は、線形で時間内挿して可降水量のデータを作成しモデルに適用した。その結果、日射量推定の精度はRMSEで1.2(Wm^{-2})程度改善されたにとどまった。したがって推定式を用いた場合でも、可降水量の精度は十分であることが分かった。

ゾンデのデータは観測点の数が少なく、データが存在する期間も6,7月のみであり、すべての地点において、ゾンデ観測地点が周辺に存在する寿県と同様の精度を期待できないことから、メッシュデータ作成時には使わないこととした。

(2) モデルの改良

・現地経度データを用いた補正

現在のモデルでは大気上端から入射する太陽放射を日時、緯度、北京標準時(BST)から決めていたが、対象ピクセルごとの経度のデータを用いて、現地の時刻(LST)に則した高度補正を行った。これにより午前中は解析値より観測値が大きく、午後は小さくなる傾向が改善され、RMSEで12.8(Wm^{-2})(6/3~29)程度精度が向上した。

・パラメータを用いたキャリブレーション

以上の改良を行った上で、6つのパラメーターを設定し、最適なパラメーター値をRMSEがなるべ

く小さくなるように決定した。

1. 晴天モデルと曇天モデルの閾値:1.1

解析対象期間内で最も晴れた日 (VIS の値が小さいとき) の VIS(正午時で 12.314 %) を 1.1 倍した値を時間ごとに計算し, VIS の値がそれ以下ならば晴天モデルを, それより大きいときは曇天モデルを用いる。

2. 大気による日射減衰の増加率:1.925

日射量減衰の要因としては, 水蒸気のほかにチリや砂埃などといったエアロゾルが考えられる。現在モデル内では, エアロゾルによる減衰の効果は考慮していないことから, 水蒸気による減衰の効果を増加させている。晴天モデルの条件に適合するケースのみから増加率を算出したところ, 1.925 倍のとき最適であった。

3. 雲の上下に存在する可降水量:0.025 % (上部) / 99.75 % (下部)

GMS5 の IR1,2 から雲頂温度を計算した。VIS と雲頂温度, ソンデを解析して得られた雲の下部に存在する可降水量の割合と雲頂温度のプロットを調べたところ, 雲頂温度が -20°C 以下の場合では, ほとんどの場合において全体の水蒸気量の 99 % 以上が雲の下部に存在した。

4. 雲自身の吸収率:1 %

雲自身の吸収率を, モデル内で計算された雲上端の反射率 (0.0~1.0) に比例させた。過去の研究では 7 % であったが, 本研究では 1 % のときが最適であった。要因としてはモデル内で逆算している反射率の値が, 実際より過大評価であることが考えられる。

5. 地表面アルベド:0.19

6 月の水田のアルベドとしては妥当な値である。SiBUC 内で計算しているアルベドは 1.5~2.5 程度の値をとる。

6. 雲の反射率の上限:87.5 %

モデル内では雲の反射率を逆算により求めているため, VIS の値が大きいときには雲の反射率が 100 % になり, 雲の下部には日射量が到達しない。したがって VIS が大きいときにも日射量が地表面に到達するように上限値を設定した。

(3) 改良したモデルの検証

改良したモデルとパラメーターを適用した結果を Fig. 13 に示す。晴れの日 (DOY=156) は正確に推定できた一方, 午前中が曇りで, 午後が晴れた日 (DOY=171) はあまり正確にあらわすことはできなかった。また期間内における観測値と解析値の比較を Fig. 14 に示す。各図中のプロットは y 軸が

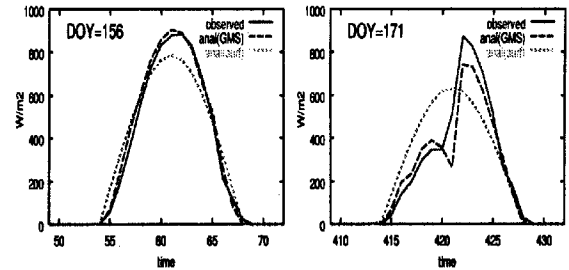
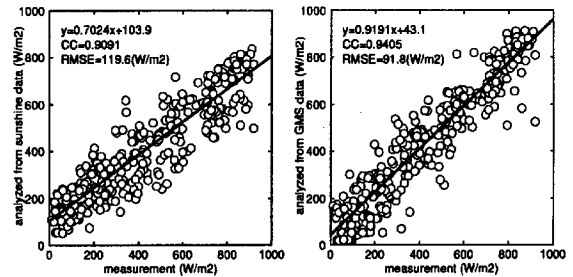


Fig. 13 Comparison between observed value and analysed value at DOY=156 and 171 (red;observed value, blue;GMS, green;sunshine)



using sunshine method using physical model

Fig. 14 Comparison between measured value and analysed one(6/3~29,Shouxian)

解析値, x 軸が観測値の散布図を示しており, 図中の式は上から順に回帰直線, 回帰直線との相関係数, 期間を通した RMSE である。各手法の精度を観測値を用いて検証したところ, 従来の近藤ら⁷⁾の手法で可照時間から求めた毎時間日射量の RMSE が $119.6(\text{Wm}^{-2})$ であったのに対して, GMS データを用いた手法では RMSE で $75.1(\text{Wm}^{-2})$ となり, $45(\text{Wm}^{-2})$ 程度の改善がなされた (Fig. 14 参照)。

本研究ではインプットデータとして解像度 10km のデータを用いたので, 1つのピクセルを均質に扱かわざるをえなかった。今後さらに解像度の細かい VIS データを併用することで, さらに精度が向上することが考えられる。

(4) 日射量メッシュデータの作成

改良したモデルの精度が確認できたことから, 上記の手法で期間内 (5/1~8/31) の毎時間日射量メッシュデータの作成をおこなった。解析期間内では, 1ヶ月ごとに各メッシュごとの地表面アルベドを推定し, 曇天モデルに使用した。

オリジナルの手法では, 期間内の最も雲の影響のない条件から地表面アルベドを求めていたが, メッシュデータを作成する地点や期間によっては求めた地表面アルベドの値が異常に低くなるがあった。したがって晴天モデルに適用されるケースで求めた地表面アルベドの平均値を期間内の地表面アルベ

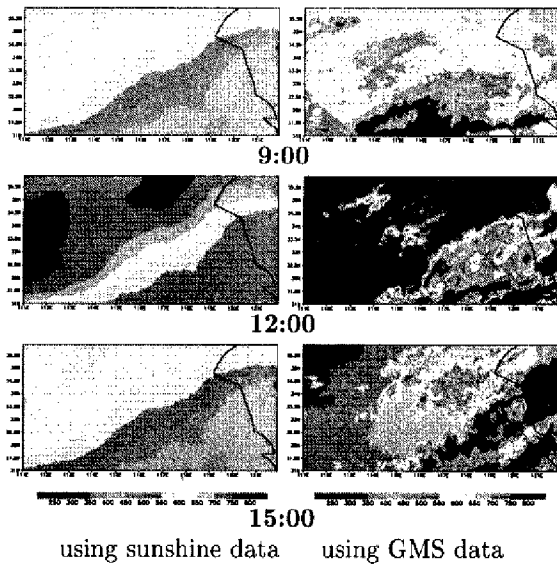


Fig. 15 Radiation mesh-data of the Huaihe River Basin at June 20th(DOY=171)

ドに設定した。さらに閾値を設け、アルベドの値を0.02から0.4に制限した。この条件で再び寿県においてキャリブレーションを行った結果、晴天モデルと曇天モデルの閾値は1.25、大気による日射減衰の増加率を1.90のときが精度がよく、期間全体のRMSEは $76.6(\text{Wm}^{-2})$ であった。

6/20(DOY=171)の各9:00, 12:00, 15:00における、モデルを用いて推定したメッシュデータをFig. 15の上部に、日照時間データを用いて推定したメッシュデータを下部に示す。(4)で用いた手法で作成したものと比較すると、モデルの推定値はHUBEX領域全体における日射量の細かい時・空間分布を表していることが分かる。

(5) 改善された日射量を用いたモデルの感度分析

(3)において日射量の精度は改善されたことが分かった。次に推定精度の向上が実際の水・熱収支推定にどのような影響を及ぼすかを、3パターンの日射量をモデルに与えて解析した。解析対象地点は寿県、解析期間内は27日間(6/3~29)。モデル内の初期の水分ポテンシャル(ψ)は-20mに設定した。

- ケース1：日照時間から求めた日射量
- ケース2：GMSデータから求めた日射量
- ケース3：観測された日射量

以上の3つの条件でSiBUCモデルを実行し、算出された熱収支の各要素を比較した。ケース3の出力結果を真値と仮定し、毎時間毎のケース1とケース3の比較をFig. 16の左図に、ケース2とケース3の比較を右図に示す。各図の見方はFig. 14と同様である。各要素ともに日射量の改善によってRMSEの値が減少し、ピーク周辺の値が真値に近

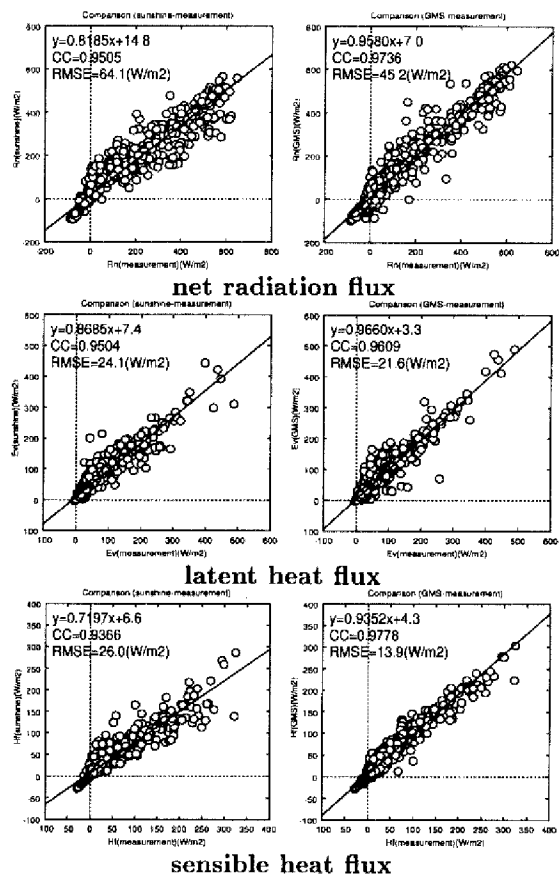


Fig. 16 Comparison between heat flux components using sunshine data and GMS data(6/3~6/29),left:sunshine,right;GMS

づいたことがわかる。またケース1では過小評価していた顕熱フラックスの値がケース2では大きく改善された。以上の結果より、毎時間ごとのフラックス推定における精度の改善が確認できた。

次に日射量の改善が、長期間における地表面状態の変化や算出されるフラックスにどのような影響を与えるかについて解析を行ったところ、各要素の期間内平均値においてもケース2では1に比べて改善が見られた(Table 6 参照)。以上の解析結果より、ケース1からケース2に改善したことによって、熱フラックスの時系列だけでなく長期間における蒸発散量や土壌水分量の推定精度に関しても改善されたことが分かる。

Table 6 Comparison between the average values of heat flux components using different short-wave radiation(unit; Wm^{-2})

	sunshine	GMS	measured
net radiation(Rn)	106.6608	114.5347	112.2015
latent heat(Ev)	56.6986	58.1215	56.7705
sensible heat(Hf)	36.4238	43.1333	41.4753

5. 淮河流域における土地利用データの改良

5.1 HUBEX 領域における農耕地の特徴

HUBEX 領域は安徽省、河南省、山東省、湖北省、浙江省、江蘇省にまたがっている (Fig. 1 参照). その中でも蚌埠、寿县が属する安徽省は、淮河の水管理、水収支推定にとってもっとも重要な省である. 淮河と秦嶺山脈を結ぶ線が中国を南北に分ける地形上の分岐点である. 気候、植生、農業についても淮河流域が南北の特徴を示す移行帯になっている. 淮河以北が暖温帯半湿润気候区に属し乾燥しているのに対し、淮河以南は北亜熱帯湿润気候区に属し雨が多い. 安徽省の気候の主な特徴は、温和で適度の雨量があり、季節風の影響を受け四季の移り変わりがはっきりとしており、梅雨が在って夏に雨が集中することである.

安徽省の農業地域は、自然条件、社会・歴史的要因によって北から、淮北区、江淮区、皖西区、沿江区および皖南区の5つに区分され、食糧作物の生産には明らかに地域的な特徴がある. 淮河北部の淮北農業区は暖温帯の南縁にあり、本省最大の畑作地帯で耕地面積の95%を畑が占める. 小麦を中心として小麦-大豆、小麦-夏とうもろこしなどの輪作方式をとる. 中部の江淮農業区は畑作から水田作への移行帯である. 江淮農業区北部の淮河沿い一帯は畑作が主で、北から南に水田の割合が多くなり、巢湖流域一帯はほとんど水田作となる. 食糧作物の構成は、北部が小麦、南部が水稻主体で、中生稻、晩生稻の割合が増大する. 江淮分水嶺以南では2期作水稻ができる. 長江沿岸、長江以南の沿江農業区はもっとも重要な米の生産基地であり、水田が耕地面積の約80%を占める. 2期作水稻が本農業区の最も重要な食糧作物である.

5.2 衛星データを用いた土地利用データの改良

(1) NDVI データを用いた解析

淮河流域の土地利用/植生タイプの情報としてUSGS(U.S. Geological Survey)のサイトからデータを取得した (<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/glcc/>). しかし実際は畑作地帯である淮河流域北部の土地利用も水田と判別されており (Fig. ?? 参照), 熱収支算定において蒸発散を過大に見積もる原因となっている. そこでNOAA-AVHRRのNDVIデータを用いて改めて淮河流域の水田と畑地の判別を行う.

解析に用いたNDVIデータセットは10day composite data (<http://edcdaac.usgs.gov/1KM/comp10d.html>) であり、1995年2月から1996年

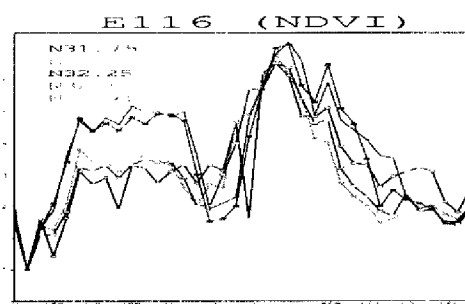


Fig. 17 Time series of NDVI at 5 points (E116°, resolution: 5 minute)

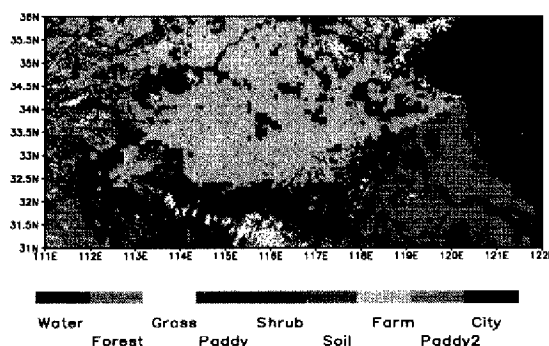


Fig. 18 Land-use map of GAME-HUBEX(include semiannual rice field)

1月までの36期(1年分)のデータを使用する. 10日間の合成データであるが、雲による影響を完全には除去できていないため、このままでは植生のフェノロジーがはっきりと見えてこない. そこで、5分メッシュのグリッドボックスに対応する100個(NDVIデータの分解能は30秒メッシュ)のデータの中でNDVI値が高いもの20個のみを平均して新たに5分メッシュデータを作成し、土地利用判別に用いることにする.

上述した通り、淮河流域の北部は畑作地帯、南部は水田地帯となっているため、基本的にはこの境界がどこにあるかを見つける作業となる. そこで、東経114度から118度のそれぞれの経線に沿って、北緯31.75度から32.75度まで0.25度刻みにNDVIの時系列を並べてみた. Fig. 17は東経116度について、南北でのフェノロジーの違いを示した図であり、32.25度以南の地域と、32.5度以北の地域のデータに大きな差異が確認できる. この解析結果と安徽省における農業形態(中島哲生,1997), 現地観測時の土地利用状況から判断すると、畑地では冬小麦を中心とした二毛作、水田では稲作の1期作(裏作として一部に野菜や油菜など)と推測できる.

(2) 淮河流域における畑地と水田の判別

上述の上位20%の5分メッシュNDVIデータの時系列で、以下の条件を満足するする場合、すなわ

ち、1年間のフェノロジーにおいて2つのピークが明瞭に現れる場合には、その領域は二毛作の畑作地帯として水田から畑地に変換する。

- 1) 第6期から14期までの平均値が0.4以上
- 2) 第15期から19期のうち値が低い3つの期間の平均値が0.275以下

その結果、淮河以北と周辺域のほとんどの水田(本来は稲作地帯である長江下流域の水田も含めて)が畑地に変換された。そこで、東経120度におけるNDVIデータを調べたところ、この地域では二期作(米+米)もしくは二毛作(米+冬小麦、菜種など)の稲作地帯であるために、NDVIの2つのピークが明瞭に現れることがわかった。従って、NDVIの南北の差異が判別しにくくなる東経118度以東で、かつ淮河本流よりも南にある領域において上記の条件を満足した場合には、米の二期作である可能性が高いため、畑地への変換を行わず、新たに米の二期作地域と判定した。Fig. 18は再判別後の土地利用図で、オリジナルの土地利用図(Fig. 2参照)と比べ広範囲にわたって畑地が広がっている。これらの図を100万分の一の土地利用図と比較したところ、より現実の土地利用に近づいたことがわかる。

5.3 SiBUCを用いた感度分析

(1) 淮河流域での熱収支推定

改良した日射量、土地利用データを陸面過程モデル(SiBUC)に与えて熱収支推定を行ったところ、淮河北部の水田から畑地に変換した領域で潜熱フラックスの値が従来の土地利用を与えたときと比べ著しい低下が見られた。理由としては6月下旬に土壤水分量(ウェットネス)が著しく低下していることが挙げられる。現在モデルにおいては水分ポテンシャル(ψ)が-100mを下回ったとき、植物の蒸散現象にストレスがかかるよう設定している。 ψ -100mの時の土壤水分は60%前半であることから実際の農耕地において60%を下回るとは考えづらい。

現在モデルの水田部分は、メッシュに与えられた降水量の8割がひとまずモデル内部に貯蔵され、2割だけを水田に与え、そして水田の土壤水分が飽和でなくなると貯蔵された降水量を用いて土壤水分を飽和させることで、灌漑の効果を表現している。一方畑地では降水がなければ水分が補給されることない。しかし実際の畑地では植物の生長の障害にならぬように灌漑が行われているはずであり、以上の推定結果からも灌漑用水量の推定は重要な問題であることが分かる。

(2) 淮河流域での水収支推定

同時にSiBUCのアウトプットを用いて、水収支推定を行った。USGSの土地利用図を用いた場合、流出量を実際の観測値よりやや少なく算出していたが(Fig. 10参照)、改良した土地利用図を用いた場合は、流出量を実際の観測値とより近い値をとった。2つの結果だけを見ると、土地利用の改善によって水収支の推定精度は向上したといえる。しかし現在のところモデル内における水田では、基底流出が発生しづらい条件に設定されたもとの推定結果であること、土壤水分の減少や土壤中の貯留量変化を考慮していないなど、まだモデル・メッシュデータともに改良が必要である。

6. 灌漑用水量の推定と陸面過程モデルへの適用

中島(1997)、黒田(2000)より安徽省の農業形態を参照しながら、除ら(1987)の農業需水量(蒸発散量)データから淮河流域に関連するものを選び出し、作物ごとの灌漑サイクルと灌漑用水量を推定するためのルールを陸面過程モデルに導入する。

6.1 水田地域における灌漑

この地域の水稻は大きく二つに大別され、淮河流域以北の水田では基本的に1期作水稻が、淮河最下流域や長江下流域では2期作水稻が作付けされている。本研究での解析期間は稲作の生育期間とほぼ一致するため、稲の生育段階は非常に重要である。

中国でも日本と同様に分けつ期の後期は中干しを行っている。中国で行われている灌漑の詳細を生育期ごとにまとめたものをFig. 7, Fig. 8に示す。これによると地域や降水量によって土壤水分量の下限や最大貯水深度が異なることが分かる。その他に必要な用水量として、代かき用水が挙げられる。中国における用水量は、中生稻で120~150(mm)、早生稻で105~120(mm)、晩生稻(2期作)で45~90(mm)程度である。代かき用水は総量としては少ないが、同時期に大量の用水を必要とするので、需要量としてのピークが高く水源の総量に大きく依存している。

単期水田の裏作として油菜は作付され、中国南方では2期作水田の裏作としても生育される。対象領域では11月中旬に種をまき、5月中旬ごろに収穫する。沿江一帯は水田の50%に菜種が作付けされていて、江淮分水嶺以北、淮河の以南の地域においても14~20%に作付けされている。ただし、生育期間が5月中旬までであるため、本研究では灌漑の効果を考慮しないこととした。

Table 7 Paddy irrigation method, water depth, minimum value of soil moisture(Jiangnan,Yanjiang)

growing stage	transplant	roottake	branch	branch(2)	emergence	flowering	ripe	full-ripe
semiannual(former)	5/1~9	5/10~11	5/12~6/7	6/8~10	6/11~24	6/25~7/1	7/2~20	7/2~20
water depth(mm)	20~50	drainage	20~50	drying	20~60	20~90	wet	dry
maximum depth(mm)	80	80	80	—	120	160	80	60
minimum wetness(%)	100	100	80	—	100	100	80	60
annual rice	6/20~29	6/30~7/1	7/2~26	7/27~30	7/31~9/4	9/5~14	9/15~10/2	9/15~10/2
semiannual(later)	7/25~8/3	8/4~5	8/6~26	8/27~30	8/31~9/23	9/24~30	10/1~11/7	10/1~11/7
water depth(mm)	20~60	drainage	20~50	dry	20~60	20~90	wet	semi-dry
maximum depth(mm)	80	80	100~120	—	120~160	100~120	60	—
minimum wetness(%)	100	100	80	—	100	100	80	70

Table 8 Paddy irrigation method, water depth, minimum value of soil moisture(Jianghuai,Huaipei)

growing stage	transplant	roottake	branch	branch(2)	emergence	flowering	ripe	full-ripe
annual rice(JH)	5/15~23	5/24~25	5/26~6/19	6/20~23	6/24~7/21	7/22~31	8/1~24	8/1~24
late annual(JH)	6/10~18	6/19~20	6/21~7/15	7/16~19	7/20~8/10	8/11~18	8/19~9/12	8/19~9/12
water depth(mm)	20~50	drainage	20~50	dry	20~60	20~60	wet	semi-dry
maximum depth(mm)	80~100	80~100	100~120	—	120~160	120~160	60~80	40~60
minimum wetness(%)	100	100	80	—	90	90	80	75
annual rice(HP)	6/14~27	—	6/28~7/20	7/21~25	7/26~8/16	8/17~25	8/26~9/21	8/26~9/21
water depth(mm)	20~50	—	20~50	dry	20~60	20~60	wet	semi-dry
maximum depth(mm)	80~100	—	100~120	—	120~160	120~160	60~80	40~60
minimum wetness(%)	100	—	80	—	90	90	80	75

6.2 畑作地域における灌漑

(1) 冬小麦

小麦は米と並んで中国の主要食糧作物である。小麦も大きく2つに大別され、中国の北部では春に種をまき、秋に収穫する春小麦が栽培されており、対象領域においては10月末に種をまき、越冬させて6月ごろ収穫する冬小麦が栽培されている。淮河北部の小麦畑では、5月下旬から高温・乾燥の季節風が吹くので、その被害を避けるために穂ばらみ期の前に十分な土壌水分を与え穂の成長の時期を早めている。

小麦灌漑の特徴としては、地域差が大きいことが上げられる。秦嶺山脈と淮河を結ぶ線が気候・自然における中国の南北の境界線であり、冬小麦に関してもこの分類は成り立つ。淮河より南では小麦の全ての生育期において降水量が需水量を上回っているため、平水年では灌漑は行われていない。一方淮河以北では、生育期間内に3度程度の灌漑が行われている。

(2) 大豆

生育期は6月中下旬に種蒔きし、9月中旬から10月下旬にかけて収穫する。北方で生育されている春大豆に比べ生育期間は30日から40日ほど短く、全生育期間は90日から120日である。基本的に小麦の裏作として作付けされているが、生育期が解析対象期間と重なるため、大豆の畑作灌漑は淮河北中部の畑作の水・熱フラックス推定にとって重要な問題である。淮北地区における灌漑の資料によると毎年灌漑が行われているわけではなく、全体の年の72.7(%)

に関しては灌漑が行われている。一方少雨年には2、3回の灌漑が繰り返行われていて、平均すると年に1.28回の灌漑が行われている計算になる。灌漑が行われる時期に関しては種蒔き期が一番多く、次いで8月の渇水期には1度ないし2度の灌漑が行われる。

(3) 夏とうもろこし

とうもろこしは米、小麦と並んで中国の三大農産物の一つである。東北部や河北省では春に植えて秋に収穫する春とうもろこしが生育されており、黄淮海地区と秦嶺山脈南部では初夏に植えて秋収穫する夏とうもろこしが生育されている。対象領域では、北西部の一部を除きほとんどの地区で夏とうもろこしを生育しており、大豆、いも類と同じく冬小麦の裏作作物として作付けされている。生育期間は90~100日ほどであり、6月上中旬に種蒔きを行い、9月の中旬までに収穫する。

Table 9 Suitable soil moisture of every growing stage(winter wheat)

growing stage(d)	wetness(%)	irrigation water(m ³ /mu)
seeding(16)	70~	50~70(Oct beginning)
branch(20)	70~80	—
overwinter(62)	70~	70(Nov late~Dec)
emergence(30)	70~	—
ears forming(24)	80~	50(Mar~Apr middle)
flowering(25)	80~	—
ripe(29)	55~65	—

$$\text{mu(unit)}; 1\text{mu} = 6.67\text{a} = 6.67 \times 10^2 \text{m}^2 \\ 40(\text{m}^3/\text{mu}) = 60\text{mm}$$

Table 10 Suitable soil moisture of every growing stage(summer soybean)

growing stage(d)	wetness(%)	irrigation water(m ³ /mu)
seeding(5)	75~(0~20cm)	35~45
branch(29)	65~(0~40cm)	35~40
flowering(19)	70~(0~40cm)	40~45
ripe(33)	65~(0~40cm)	40
full-ripe(32)	—	—

Table 11 Suitable soil moisture of every growing stage(summer corn)

growing stage(d)	target soil layer	wetness(%)
seeding~roottake(5)	0~40	75~85
roottake~branch(25)	0~40	65~75
emergence(22)	0~60	70~80
ripe(19)	0~80	75~85
full-ripe(25)	0~80	68~75

6.3 灌漑ルールの設定

期間内に存在するすべての農耕地を4パターンに分類・整理した。モデルに与える灌漑ルールをまとめると以下のとおりである。

(1) 水田(1期作)：菜種、単期水稻

5/1(計算開始時)に土壤水分量の初期値として菜種成熟期の最適土壤水分である75%を与える。安徽省江淮地区の中稲のデータ(Fig. 8 参照)を用い、6/9から水面が存在する。また最適水深の範囲には幅があるので、最適水深の下限はその水深を下回ったら灌漑を行う深度、上限は灌漑によって補給される深度に設定し、貯水深度は最大の値を用いた。

(2) 水田(2期作)：早期水稻、晚期水稻

安徽省江南・沿江地区の双期早稲、晚稲のデータを用いた。また最適水深と貯水深度上限値は表 Fig. 7 の値を設定し、成熟期には落水を実施し乾燥させてから収穫することにした。また早期と晚期水稻のあいだの期間は、7/21,22では乾燥させて、7/23は代かき、7/24から水面が存在することにした。

(3) 畑地：冬小麦、夏大豆

5/1の条件として、出穂開花期(冬小麦)の末期であるので土壤水分量の初期値を80%に指定した。6/16の大豆の種蒔き時点まで土壤水分量は考慮せず、種蒔き期(6/16~20)、分枝期(6/21~7/19)、開花期(7/20~8/7)、鼓粒期(8/8~9/9)、成熟期(9/10~10/11)の各期間を設定した。各期間の下限土壤水分量は表 Fig. 10 に従い、各期間の下限土壤水分量を下回った場合、40m³/μ(=60mm)の灌漑用水を与えることとし、灌漑次数は3回までとした。

(4) 畑地：冬小麦、夏とうもろこし

5/1の条件として、同様に土壤水分量の初期値を80%に指定した。6/11のとうもろこしの種蒔き時点まで土壤水分量は考慮せず、種蒔き期(6/11~15)、

分けつ期(6/16~7/10)、出穂期(7/11~8/1)、乳熟期(8/2~8/20)、黄熟期(8/21~9/14)の各期間を以上のように設定した。各期間の下限土壤水分量は表 Fig. 11 に従い、灌漑実施時の灌漑定量は45m³/μ、灌漑次数は3回までとした。

その他にも夏季の畑地では高粱、芋類などが生育されているが、データが不十分であることから本研究では上記の2つを夏季の畑地で生育されている作物の代表とした。また、安徽省の畑地では1年ごとに作付け品種を変更する輪作栽培が行われていることから、モデル内では隣り合うメッシュが同一品種にならないように2つの土地利用を交互に設定した。

6.4 推定した灌漑用水の検証

(1) 灌漑用水の分布

淮河流域全体において、推定した灌漑用水量を与えて SiBUC を実行した。4ヶ月間に使用された灌漑用水量の分布を Fig. 19 の上図に示す。北中部に広がる畑地では青か水色を示しており、灌漑用水量が200mm以下である。一方水田では多くの地点で黄緑や黄色を示しており、畑地に比べ多量の灌漑用水が必要であることがわかる。また灌漑用水量も200~500mmとその地域の降雨量によって大きく左右され、北部の水田では600mmを超えているところもある。したがって稲作は他の農作物に比べて多量の水を必要とし、降雨量の多い地域、または灌漑用水が利用しやすい地域に限られると推測される。

水田では灌漑を行うとともに、中干期や落水時、貯水深度を超えた時に排水を行っており、それらを灌漑排水量に設定した。一枚の水田で考えた場合、灌漑と排水を同時に行うことは不可能であり、排水を灌漑用水に利用することは難しいが、10kmメッシュもしくは流域単位で考えた場合では、灌漑排水の一部反復利用がなされていると考えられる。

下図は、灌漑用水量から排水量を引いた値の分布を示している。この図では東部の比較的灌漑用水量の使用が少ない地域で、さらに減少していることがわかる。実際のところ排水された水量がすべて反復利用されているとは考えづらいことから、2つの値の中間的な値をとると思われる。以上のことから判断して、北部・中部の畑地では60~120mm前後、水田では400mm以上の灌漑用水が、南部の水田では200~400mm前後の灌漑用水が必要であることが推測できる。

(2) 畑地における解析

畑地の代表として、豫北地区と豫南地区の畑地(夏とうもろこし)を選んだ。灌漑用水量の影響をみるために、解析期間内に SiBUC で算出された土壤水

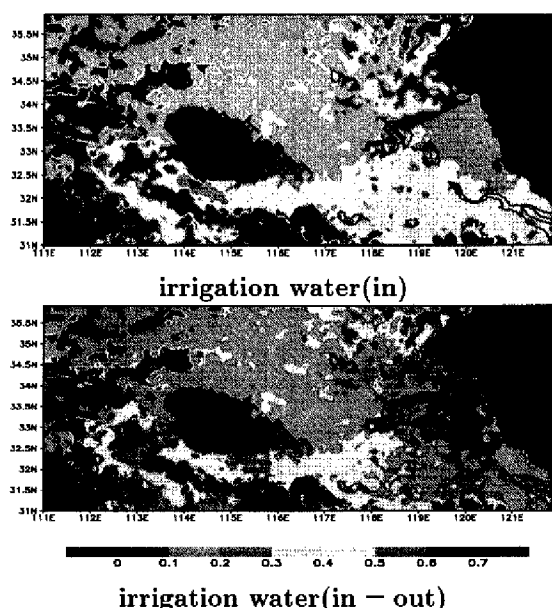


Fig. 19 Accumulated value of irrigation water for 4 month (5/1~8/31,unit;m)

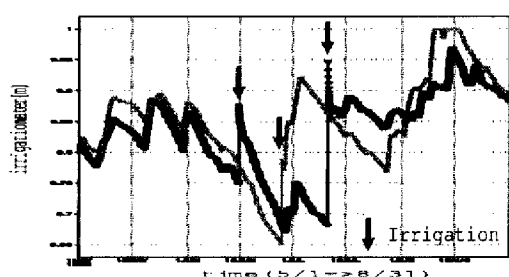


Fig. 20 Time series of the value of soil moisture in farmland(north part of Henan:black line, south part of Henan:green line)

分量変化を Fig. 20 に示す。黒線が豫北地区、緑線が豫南地区に存在するメッシュにおける土壌水分変化を示しており、豫北地区では1回、豫南地区では2回の灌漑がモデル内において実施された。これは現地における大豆やとうもろこしに関する記述と一致する(中島哲生,1997)。また土壌水分の下限を設定したことによって、作物の生長に支障をきたさないように灌漑が実施されていることが分かる。

(3) 水田における解析

1期作水田では江淮地区の水田を、2期作水田としては江南地区のアウトプットを示す。水田では土壌水分量は基本的に飽和であることから、モデル内で与えた水深と灌漑用水量の変化を Fig. 21 に示し比較を行った。赤線が水深、黒線が灌漑に用いられた水量、赤線が落水などで人為的に排水された水量を示している。

図より、江淮地区では約450~500mmの灌漑用水量が必要であり、灌漑の実施時期は6月から7月

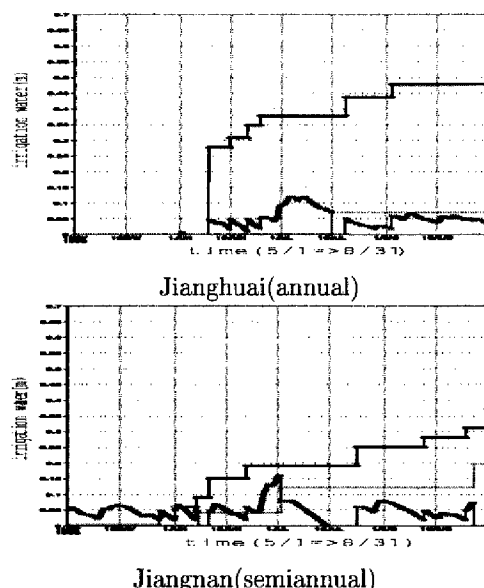


Fig. 21 Comparison of irrigation water(paddy field) (irrigation water(in);black line, irrigation water(out);green line, water depth;red line)

にかけての返青期、分けつ期に集中している。一方江南地区では2期作で生育期間が長いにもかかわらず、使用された灌漑用水量は300~400mm程度である。また反復利用を考慮したとするとさらに灌漑用水量は少ないといえる。

7. 灌漑用水を考慮した水・熱収支推定

7.1 HUBEX 領域での熱収支推定

次に HUBEX 領域全域において、灌漑用水量を考慮した場合の熱収支推定を行った。Fig. 22 は潜熱フラックスの10日平均値の分布図を12期分並べたものである。特に梅雨期である6月には淮河北部の畑作地帯において南部の稲作地帯より潜熱が大きく算出されていることが分かる。理由としては、灌漑用水をモデルに与えることによって畑地においても土壌水分が一定以上に保たれていること、梅雨前線の北側では晴れの日が多い(純放射が大きい)ことが挙げられる。

一方、顕熱フラックス値の分布(Fig. 23 参照)からは5月下旬から6月にかけて、広範囲において負を示した。これは潜熱が過剰に出ていることと、地表面の温度が気温より低下していることが原因である。したがって現地の水田における検証と、モデル内の地表温度とキャノピー相当の気温とのインタラクションを検討する必要がある。

7.2 蚌埠上流域での水収支推定

淮河中流の蚌埠を下流端とする領域で水収支推定を行った。解析期間は4ヶ月(5/1~8/31)で、灌漑

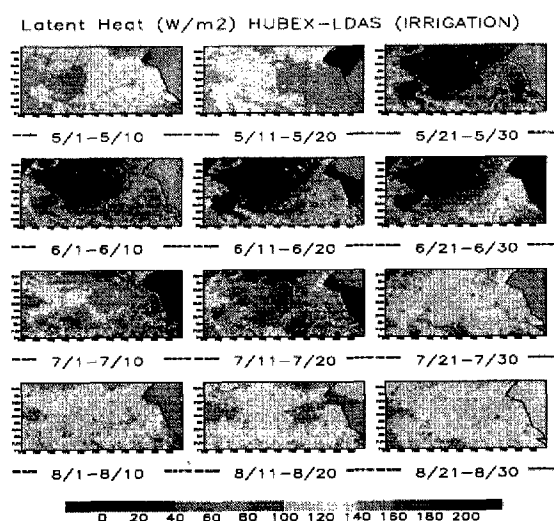


Fig. 22 Latent heat flux mesh-data of the Huaihe River Basin (average value for 10 days, including irrigation effect)

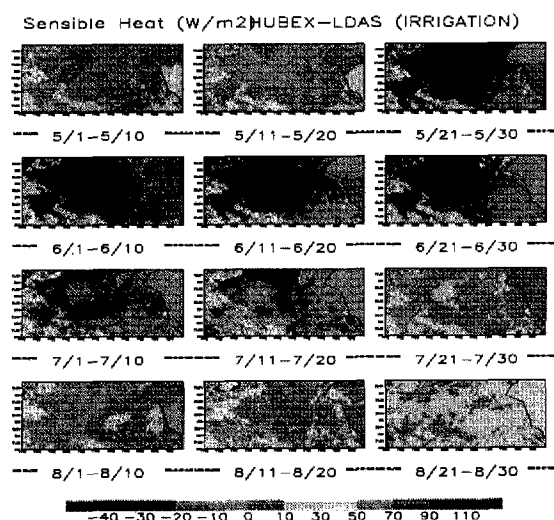


Fig. 23 Sensible heat flux mesh-data of the Huaihe River Basin (average value for 10 days, including irrigation effect)

用水量の有無が流域内水収支にどの程度影響を及ぼすかを解析した。対象領域の土地利用としては畑地と水田(1期作)が大部分を占め、流域内で使用されている灌漑用水量もかなりの水量に達すると見込まれる。

Fig. 24 は蚌埠上流域(121,330 km²)に存在するグリッドごとのアウトプットを足し合わせたもの(流域平均の時間積算値)であり、流出にかかる時間の影響(河道の効果)は考慮されていない。対象期間は1998/5/1から8/31(123日分)である。水収支の各要素のうち、降水量(656.6mm)と蚌埠での流量(246.7mm)は観測値である。モデル内で計算された各項の積算値はそれぞれ蒸発散量(592.0mm)、

流出量(221.9mm)、貯留量変化(100.5mm)、灌漑給水量(250.2mm)、灌漑排水量(23.8mm)である。

中干し・落水時に排水された水量(23.8mm)は一時期に大量に流出することから、モデルの流出量(221.9mm)に加えると、観測流量(246.7mm)に極めて近い値となる。この計算では植生・土壌パラメーターとして一般的な値を使用しており、キャリブレーションは行っていない。ただし、流域平均で250mmもの灌漑用水量を実現するにはダムやため池等で期間外の雨量を貯留しておくか、もしくは流域外から導水しなければならない。モデルでは最適な条件を満足するように灌漑水を給水する設定となっており、流域全体としてそのような配水が可能であるかのチェックはしていない。現実的には灌漑用水量に制約がかかり、その分蒸発散量が減少すると予想される。

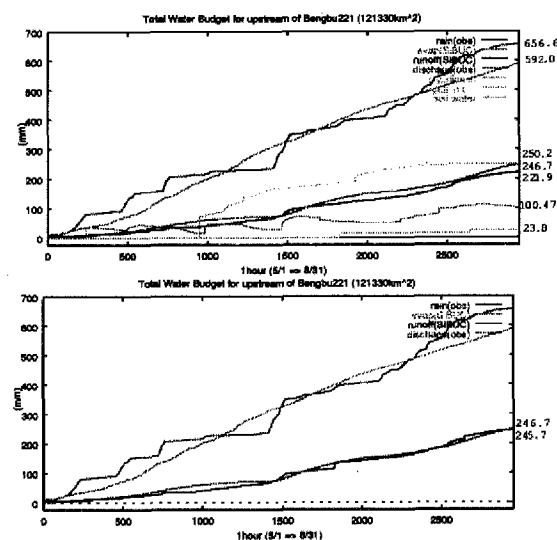


Fig. 24 Water budget in the upstream area of Bengbu (including irrigation effect)

7.3 史灌流域における灌漑用水量の検証

現在のところ、推定した灌漑用水量が流域内で実現可能であるかどうかは考慮されていない。そこで算出した灌漑用水量が流域内水収支の観点から見て妥当であるか、様々な水文データが存在する史灌流域において検証した。

(1) 史灌流域内で観測された水文データ

- 日蒸発量(3地点)
- 毎3時間の河川の水位、流量データ(3地点)
- 日単位の河川水位データ(7地点)
- 毎時間の雨量データ(48地点)
- 梅山、鮎魚山ダムの毎時データ; 水位(m), 貯水量(億t), 流入量(t/sec), 放流量(t/sec)

- 日毎の土壌水分量 3 地点 (梅山, 鮎魚山, Jiangji), 6 深度

(2) 水文データを用いた水収支推定

現在利用可能なデータを用いて水収支推定を行った。解析期間は 5/15~9/16 の 4 ヶ月、解析対象領域は史灌流域のうち 2 つのダムの下流域で対象面積は 3036km² である。使用したデータは、降雨量、ダムからの放流量、土壌水分量、蒸発量、下流端 (Jiangji) からの日流出量データである。雨量は 20 地点の平均を、土壌水分量は 3 地点の表層 100cm の水分量の平均値を、蒸発量は 3 地点で観測された蒸発パンの平均値に Qian らによって求められた蒸発係数 0.93 をかけた値を流域の代表値とした。

また対象流域は 2 つダムから多くの水量を供給されており、下流端からの流出量以外に灌漑用水量として流域内放水路、もしくは流域外にも放流していることが分かっている。したがって降雨量、ダムからの放流量と貯留量の和から、蒸発散量と下流端からの流出量を引いたものを灌漑用水量と仮定した。また 2 つのダムを取水源にしている農耕地の面積に応じて、算出した灌漑用水量のうち 30% が流域内の灌漑に使用され、残りの 70% が下流端以外から他流域へ流出したと仮定した (Qian, 1999)。

以上の解析結果から、単位面積あたりの灌漑用水量を考慮した蒸発散量は約 580mm になり、蚌埠上流域の平均値とほぼ一致した。ただしモデルを用いた解析では貯留量が 100mm 程度増加したが、水文データを用いた推定では期間内に土壌水分量が約 60mm 程度減少していることなどから、単純に比較が出来ないことが分かる。また以上のような作業で得られた灌漑用水量 (120.55mm) は、モデルで与えた灌漑用水量 (250.2mm) に比べ小さな値をとった。今後はそれぞれが持つ水収支推定におけるに意味をふまえ、さらなる灌漑用水量の検証を行っていく。また解析期間以前に稲作・畑作に備えて水を蓄え、期間内に灌漑用水としている水利用システムが、実際に存在するかどうか検証していきたい。

8. 結語

本研究では中国淮河流域での精度の高い水・熱収支推定を行うために、

1. モデルに依存しない気象メッシュデータ作成法の構築、
2. 農耕地における人為的操作がモデルに及ぼす影響の評価、

という 2 点を主目的にして、陸面過程モデルを用いた解析を行ってきた。

メッシュデータの作成に関しては観測データの内挿法の構築と、GMS データを用いた手法を組み合わせることで精度の高いメッシュデータを作成した。また灌漑用水量、人為的操作という水文・気象データからのみでは推定しづらい事象に関しては、人文地理的な記述や農作物需水量データから灌漑用水量の利用サイクルを推定し、それを気象データを用いた陸面過程モデルの出力結果と水文観測データの 2 つのデータを用いて検証を行った。今後より精度の高い灌漑の効果をモデルに組み込むことによって、更に踏み込んだモデルとデータセットについての議論が可能になることが期待できる。

また以上の解析結果から淮河流域において流域内で利用されている灌漑用水が水・熱収支に少なからず影響を与えていることを示すことが出来た。したがって今後の研究では、さらに灌漑用水量推定の精度を高めていくと同時に、他の相互作用を及ぼしていると思われる事象についても評価していきたい。そして流域内水循環の総合的な把握、またアジア域における HUBEX 領域の重要性についての評価、また最終的にはそこで得られた成果を数値気象予報や洪水予測をはじめとした、様々な工学的分野へ応用していくことが本研究の目標である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な助言を頂いた京都大学防災研究所水災害研究分野の立川康人助教授に衷心より感謝いたしますとともに、ここに厚く御礼申し上げます。また GMS データを提供して頂きました千葉大学環境リモートセンシング研究センター近藤昭彦助教授、様々な観測データを提供して頂きました GAME-HUBEX の関係者の皆様に紙面を借りまして深く感謝いたします。

参考文献

- 武田喬男・坪木和久 (1996) : モンスーンアジア地域のエネルギー・水循環のプロセス解明-亜熱帯・温帯モンスーン地域観測研究計画 (中国淮河流域観測計画), GAME Publication No.1.
- 甲山治・田中賢治・池淵周一 (1999) : 陸面過程モデル構成上の気象強制力メッシュデータ作成法に関する研究, 京都大学卒業論文
- 田中賢治・椎葉充晴・池淵周一 (1999): GAME/HUBEX-IOP の水・熱フラックス観測の速報, 京都大学防災研究所年報, 第 42 号 B-2, pp.121-140.

- 田中 賢治・池淵 周一 (1994) : 都市域・水体をも考慮した蒸発散モデルの構築とその琵琶湖流域への適用, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-2, pp. 299-313.
- 田中賢治・中村忠則・山本卓生・椎葉充晴・池淵周一 (1998) : SiBUC-JSM88 結合モデルのテストラン, 京都大学防災研究所年報, 第 41 号 B-2, pp.135-154.
- 近藤純正・中村亘・山崎剛 (1991) : 日射量および下向き大気放射量の推定, 天気, No.38, pp.41-48.
- Kozan, O., Tanaka, K. and Ikebuchi, S. (2001): Estimation of Energy and Water Budget in the Huaihe River basin, China, Proc. of the International Workshop on GAME-ANN/Radiation Phuket, Thailand, 32-35.
- Gautier, C., Diak, G. and Masse, S. (1980): A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data, J. Appl. Meteor., 19, 1005-1012
- Petty, G. W., (1995): The status of satellite-based rainfall estimation over land, Remote Sens. Environ., 51, 108-124.
- Qian M., Xu H., Peng S., Xu S. and Cheng X. (2000): Studies of water balance of Shiguan River catchment, Int. GAME/HUBEX Workshop, Sapporo 2000
- 除玉民・郭国双 他 (1987): 中国主要作物需水量与灌溉, 水利電力出版社
- 中島哲生 (1997): 中国の水利管理 - 淮河中流 -, 社団法人 農業土木事業協会
- 立川康人・川上 貴裕・宝馨・椎葉充晴 (2000): 中国淮河流域を対象としたマクログリッド型洪水流出モデルの構築, 京都大学防災年報, 第 43 号 B-2

**The estimation of water and heat budget in the Huaihe River Basin China
— detail representation of variable cropland and irrigation —**

Osamu KOZAN*, Kenji TANAKA, Shuichi IKEBUCHI

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

In this study, the energy and water budget of Huaihe River Basin in China is calculated by land-surface scheme (SiBUC). The dataset which is used as forcing data for Land Data Assimilation is created by using meteorological and hydrological data obtained during HUBEX-IFO (1998/5/1-8/31). And the diurnal variation of downward short-wave radiation is improved using GMS data. Then based on the agricultural report, all cropland are categorized into four classes (annual paddy, semiannual paddy, wheat + soybean, wheat + maize). According to the water requirement data in the literature, appropriate water level and soil moisture condition is defined depending on the growing stage. In the numerical simulation, irrigation water is supplied or drained to meet this appropriate condition. Due to irrigated water and larger solar radiation, latent heat flux in the northern farmland becomes larger than that in the southern paddy field.

Keywords : land surface scheme, GMS data, land-use classification, irrigation water