

陸面水文モデルに対する降水時間スケールの グローバル影響評価

ANALYSES OF GLOBAL DEPENDENCE OF SIMULATED LAND SURFACE HYDROLOGICAL BUDGET ON TEMPORAL SCALE OF PRECIPITATION

平林 由希子¹・鼎 信次郎²・沖 大幹³・虫明 功臣⁴

Yukiko HIRABAYASHI, Shinjiro KANAE, Taikan OKI, and Katumi MUSIAKE

¹学生会員 東京大学生産技術研究所 大学院博士課程 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

²正会員 博士(工学) 東京大学生産技術研究所 助手 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

³正会員 博士(工学) 東京大学生産技術研究所 助教授 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

⁴正会員 工学博士 東京大学生産技術研究所 教授 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

Sensitivity of Land Surface Model (LSM), which is designed to simulate water and energy on large scale, to the temporal precipitation resolution is examined. The results of two sets of off-line experiments by a LSM are investigated. The first set of the experiments is global $1^\circ \times 1^\circ$ simulation in 1987, which is driven by the same atmospheric forcings but different precipitation input, varying in temporal scale from high (6-hourly) to low (deca-day or monthly). Low temporal precipitation is obtained by averaging original 6-hourly precipitation. Original 6-hourly and obtained deca-day averaged or monthly averaged precipitation forcing are provided to the model and the results are compared at each grid pixel. The results show that increases in surface runoff are obtained at most of the grids with the low temporal precipitation, due to large increase in canopy interception. At the place where monthly LAI value is large and monthly precipitation is around 100 mm/mon, the effects of the temporal scale of precipitation tend to be the largest. Another set of experiments is also $1^\circ \times 1^\circ$ off-line simulation at one grid pixel using the accumulation of the observed precipitation. Three downscaling schemes for retrieving daily precipitation from the monthly value are compared in terms of water balance calculated in the LSM. Both the number of days and intensity are shown to be important for the hydrological estimation in LSM. The water balance calculated in the experiment with γ distribution method shows fairly well accorded with the experiment using observed daily precipitation, and shows the applicability of the scheme for downscaling of daily precipitation from monthly data.

Key Words : LSM, precipitation frequency, global water balance, down scaling

1. はじめに

モデル開発における深刻な問題として、モデルに与える入力データの不足が挙げられる。モデルの再現性も、主に境界値や検証用などのデータの不足によって制限されることがしばしば生じる。従って、現実的にはある程度妥協した入力データ、つまりバイアスを含んだ数値モデルによる再現値や、時間・空間解像度が粗い入力データを、適宜補間や再分配などを行い、必要な目的の為に十分であるという判断を下した上で使用することとなる。

本論文では、主に世界水資源研究に使用されるようなグローバルな範囲で地球上の淡水量を算定するモデルを対象とし、妥当な水資源量を得るためには、どのような時間スケールの降水データを陸面モデルに与える必要があるかということに着目し、陸面モデルの降水

の時間スケールに対する感度を明らかにすることと、降水の時間ダウンスケーリング手法の適用性を調べることを目的とする。具体的には、温暖化などの気候変動研究に用いられる大気大循環モデル (General Circulation Model, 以下 GCM) の陸面部分のサブモデルとして開発された、水平解像度が数十 km から数百 km 程度の陸面モデル (Land Surface Model, 以下 LSM) を用いて、算定される水文学の入力降水量データに対する 2 種類の感度実験を行う。1 つ目の実験では、まず、グローバルに大気データの整備された ISLSCP-I データを用いて、6 時間降水量、旬平均降水量、月平均降水量の 3 ケースについての LSM の水文算定量を比較し、降水の時間解像度に対する感度が高い地域を抽出する。次に、2 つ目の感度実験では、前の実験において降水の時間解像度に対する感度が高かった日本の千葉県付近の $1^\circ \times 1^\circ$ グ

リッドにおいて、月降水量から日降水量を求めるダウンスケーリング手法としての γ 法の妥当性の検証を行う。

2. グローバル LSM に与える降水データの時間解像度

陸面水文モデルで水量を算定するためには、土壌や土地被覆分布などの境界値と、大気から地面へ受け渡しされる大気外力を与える必要がある。大気外力は太陽から地表面への下向き放射エネルギー、風速、気温などいくつかあるが、その中でも降水量は陸面水量の算定を行う際の重要な入力の一つである。しかしながら、現在グローバルな空間を網羅し、かつ継続的に得ることのできる信頼できる降水量の時間解像度は、月平均までである。

グローバルに得られる降水量データは、観測値、GCM によるモデル算定値、または再解析と呼ばれる過去のデータを GCM によって時間空間方向に同化したプロダクトの 3 つに分けられる。観測値の例としては、GPCC(Global Precipitation Climatology Center) に代表される雨量計観測網から集積されたグリッドデータや、赤外及びマイクロ波散乱計及びマイクロ波放射計などの衛星によるもの、それらの混合などがあげられ、過去約 20 年間までに関して集積・整備されている。しかしながら、これらのデータセットは、近年 GPCP 等が 1997 年～現在までの $1^\circ \times 1^\circ$ 日降水量を作成している以外は、ほぼ全て月平均である¹⁾。

一方、世界のいくつかの機関において、GCM のモデル出力値や、GCM を利用して過去の観測データを時間空間の 4 次元方向に同化した長期再解析によるグローバルな降水データが作成されている。これら数値気候モデルによる降水量は、前者の観測値と比較して、温暖化予測を含めた長期間のグローバルデータセットが得られるという利点がある。しかし、用いる GCM のシステムエラーがあることや、広域の平均場を再現することを目的とした GCM の降水量などでは、月単位以下の時間スケールにおける信頼性が小さい場合があることが挙げられる。例えば、Prudhomme ら²⁾は、イギリス気象局の GCM である HadCM2 の温暖化実験による日降水の頻度分布が平坦で局所的な変動が低いので、温暖化による洪水頻度解析を行う際の水文モデルへの入力データとしては GCM の温暖化実験の値をそのまま使うことはできないことを指摘している。Prudhomme らはまた、HadCM2 の温暖化実験による月平均降水量と現在の月降水量との差分を、将来の降水パターンによる異なる 3 種類の日降水シナリオに従って現在の降水データに分配して解析を行った。その結果、洪水ピークの再帰期間は日降水のシナリオによって大きく変化する

ことが示され、GCM における日降水の再現性の重要性及び、適切な降水の時間的ダウンスケーリングの手法の開発が重要であることが提唱された。

温暖化予測など GCM の出力値を使用するときに限らず、限られた時間スケールの降水しか得られない場合、例えば月降水量しか得られない場所・時代について、水量を LSM によって算定する時には、LSM に対する降水時間スケールの応答を把握したうえで、必要な目的に応じた時間スケールの降水データをダウンスケーリング手法によって作成する必要がある。

このような観点から LSM の降水時間スケールに対する応答を調べた研究としては、佐藤ら³⁾が挙げられる。佐藤らは、SiB モデル⁴⁾⁵⁾に札幌官区気象台によって作成された日本北部の大気外力データの時間観測値を与え、放射と降水の時間解像度に対するモデルの水収支計算の感度を調べた。一時間データを外力として与えた場合と、もとの一時間毎のデータを平均することによって作成した粗い時間解像度の外力を与えた場合を比較した結果、放射データの時間解像度に対しては感度がほとんど無かったのに対し、降水に関しては、長い時間平均を取るほど、植生による遮断蒸発が増加するため、時間解像度への感度が非常に大きいことが示された。

本論文では佐藤らの研究を全球範囲に拡大し、どのような地域・気候条件において LSM が降水の時間解像度に対する感度が高いかを明らかにする(3, 4 節)。続いて、降水の時間解像度に対する感度が高かった地域において、LSM の感度という観点から、簡便でグローバルに適用可能なダウンスケーリング手法(ここでは γ 法)の妥当性の検証を示す(5 節)。

3. 使用したデータ及びモデル

(1) 陸面モデル

本研究では、国立環境研究所と東京大学気候システムセンターが共同で開発した陸面モデルである MATSIRO⁶⁾を使用した。MATSIRO は多層の雪モデルを組み込み、キャノピーモデルと SiB タイプの光合成モデルからなる植生モデルと、簡易型 TOPMODEL の流出スキームを有する LSM である。水平解像度として緯度・経度 $1^\circ \times 1^\circ$ の格子を用いた。与えた大気外力の水平解像度も全て同じである。積分計算の時間ステップは 6 時間とし、土層の鉛直解像度は 5 層である。積分計算をする前に、同じ年の値を与え続けるスピニアップを行った。スピニアップは 10 年で打ち切り、実際の実験はその最後の値を初期値とした 11 年目の計算である。スピニアップ最終年の、土壌水分貯留量の前年との誤差を調べたところ、土層の第一層から順に、全陸面グリッドに占める割合が 90.4, 96.83, 97.22, 98.46, 98.49% のグリッドに

において、誤差が5%以下となることを確認した。土壌パラメータと土地被覆分布は固定とし、土地被覆に応じたLAI(Leaf Area Index)は、ISLSCP CD-ROM Iによるデータセットから作成した月平均値を与えた。

(2) 大気外力データ

陸面モデルに与える大気外力データは、ISLSCP(International Satellite Land Surface Climatology Project) Initiative CD-ROM の1987-88年の2年間の $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ データ⁷⁾を用いる。ISLSCP-Iとは、1987年と1988年の2年間について、全球 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ の範囲で陸面のデータセットを作成した国際プロジェクトである。

ISLSCP-Iによって、現業の気象予報を行うセンタ(ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)及びNCEP(National Centers for Environmental Prediction))における再解析データ、衛星観測(NASA/LaRC)、グローバル雨量計観測網(GPCP)による観測を組み合わせた陸面モデルに与える大気外力データが整備され、提供された。2m高度における気温及び露点温度、地表気圧、10m高度における風速、長波及び短波放射、総降水と対流性降水の合計8つのプロダクトが1日4回(00,06,12,18UTC)の時間解像度の外力データとして使える。放射と降水量以外は基本的にECMWF/WCRP(ECMWF,1993)のプロダクトである。放射は、ECMWFで雲被覆率が過小評価されることによるシステムティックなバイアスを除去するため、ECMWFが算定した放射の時間変化を、月の総量がNASA/LaRC月平均値と一致するように嵩上げたものを用いる。同様に、降水量に関しては、GPCPによる雨量計のみから作成された月降水量データを、NCEP/NCARによる6時間ごとの総降水量と対流性降水量の予報値を用いて6時間ごとに分配されている。ただし、日降水量の頻度分布は、FGGE(First GARP Global Experiment)対象期間(1978年12月～1979年11月)における雨量計を基とした全球 $4^{\circ} \times 5^{\circ}$ の日降水データの頻度をしきい値として用いて現実に近くなるような操作が行われている⁸⁾。

本研究では、ISLSCP-Iデータのうち、地表面の風速、気温、気圧、長波及び短波放射は、6時間ごとの値を大気外力として使用した。地表面の比湿は、地表面の露点温度と地表気圧データから求めた。また、雲の被覆率は、ISLSCP-Iの月平均データを1ヶ月間一様に与え続けた。

4. ISLSCP-Iを用いた全球感度解析

(1) 実験設定

オリジナルの6時間解像度の降水量データから、異なった時間解像度を持つ計3種類の降水量外力データを作成し、それらを用いた以下の3種類の実験を行なった。

- (i) 実験1: ISLSCP-Iの6時間データをそのまま与えたもの
- (ii) 実験2: 実験1の旬(10日)平均値を10日間与え続けたもの
- (iii) 実験3: 実験1の月平均値を一ヶ月間与え続けたもの

図1には、これら3種類の外力としての降水量の、中国東部における時系列を示す。

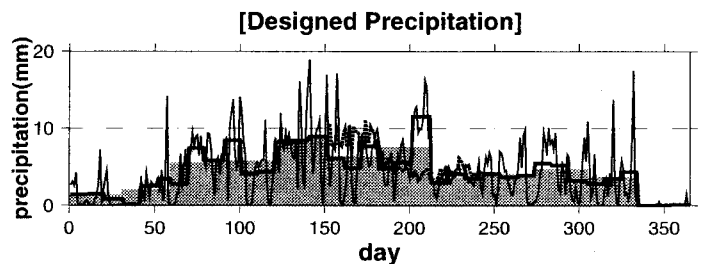


図1 ISLSCP-Iから作成した外力として与える降水量データの時系列。中国東部の領域平均値を示す。細線がオリジナルの6時間データ、太線が旬平均、棒グラフが月平均。

(2) 結果

図2は実験1と3の年間流出量(グリッドごとに計算される流出量)の差を示す。北米東部、南米大陸、アフリカ中南部、インド亜大陸、インドシナ半島、中国など多くの地域において流出の減少が見られる。与えた降水量の積算値は3実験全てにおいて等しいので、土壌層への貯水量の変化がほとんど無いと仮定すると、図2に見られるような年流出量の減少は、すなわちその場所の年蒸発散量の増加と対応すると考えられる。

そこで、図2の矩形に示される4領域における年蒸発散量の変化を分析した(図3)。上が実験2と実験1との差であり、下が実験3と実験1との差である。どちらの実験においても、全ての領域において、降水の時間解像度を変えたことによる総蒸発散量の増加が数10mm程度みられる。蒸発散量変化の内訳を見てみると、最も大きい変化は、遮断蒸発の増加と蒸散量の減少であることがわかる。総蒸発散量の増加は、蒸散の減少分よりも遮断蒸発の増加分が多い為である。遮断蒸発量の増加は、平滑化によって平均降水強度が弱くなったことと、降雨日数が増加したことの2つが原因として考えられる。蒸散量が減少したのは、降雨日数の増加によって葉面に水が付着している時間が長くなりその間の蒸散が

Change of Runoff (MON minus ORG)

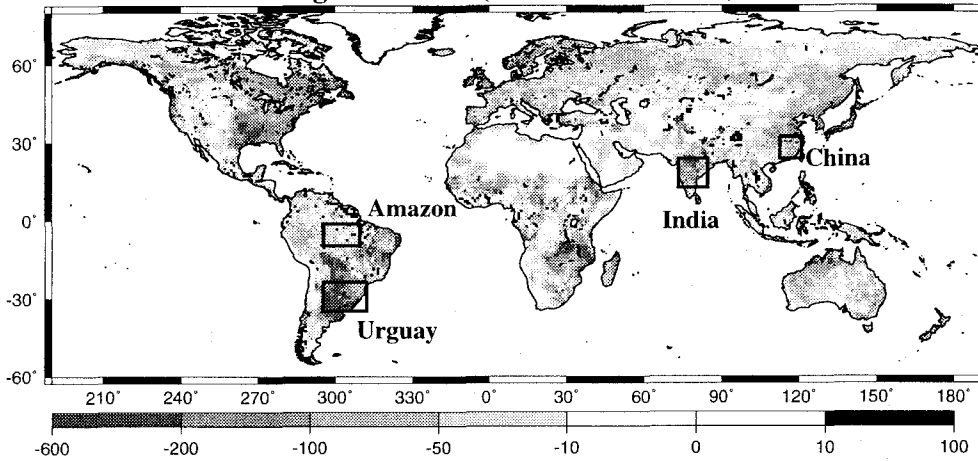


図2 実験1と実験3の年流出量の差 (実験3 - 実験1)

抑制されたためである。

以上より、降水の時間解像度が異なる場合には、与えた降水の数十日間の積算量が等しい場合においても、LSMで得られる陸域水収支が大きく異なるという事が指摘された。また、図3の上下の図を比較すると、降水をより長く平均している実験3(下)の方が2(上)よりも蒸発散量の変化、引いては流出量の変化が大きいことが分かる。

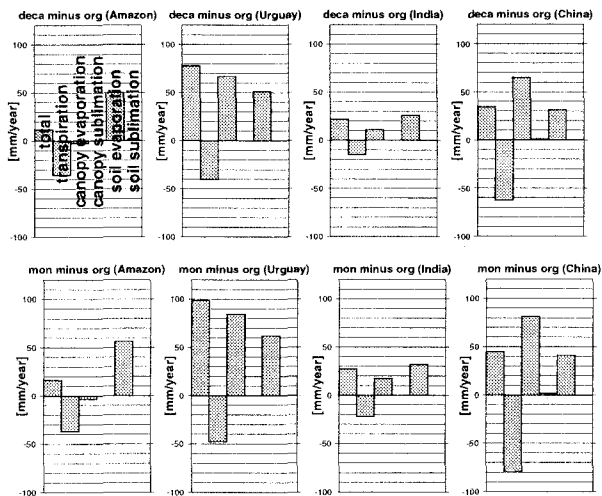


図3 実験2(上)と3(下)における、実験1からの蒸発散量の変化の内訳: 左から順に全蒸発散, 蒸散, 遮断蒸発, 遮断昇華, 裸地面蒸発, 裸地面昇華を示す

次に、実験3と実験1の差から、どのような地域・気候でより降水の時間解像度が陸域水収支算定に与える影響が大きいかを調べた。図4は、毎月の全ての陸上のグリッドの遮断蒸発の差と月LAIとの関係をプロットしたものである。個々の点は、12ヶ月それぞれの各 $1^\circ \times 1^\circ$ 格子における値を示す。LAIが低い1から2, 3程度の場所においては、遮断蒸発量の差の上限が「LAIの増加1に対して遮断蒸発量の差が20mm増加」という割合で変化する。また、LAIが3以上のときは、LAIの値が大きくなるほど遮断蒸発量の差が少しずつ増加していることが、多くの点において見られる。しかし同時

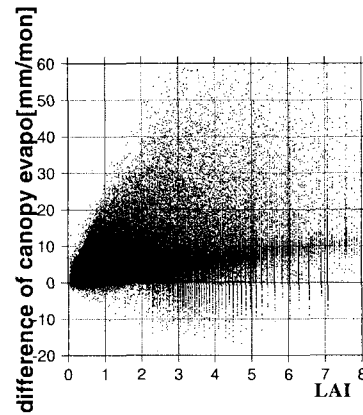


図4 実験3と1の遮断蒸発の差と、LAIの関係。それぞれの点は全球のグリッドの各月ごとの値を示す。

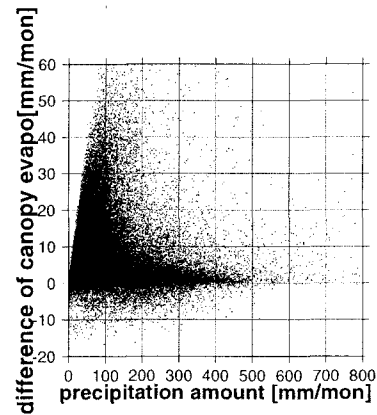


図5 実験3と1の遮断蒸発の差と、月平均降水量の関係。それぞれの点は全球のグリッドの各月ごとの値を示す。

に、図4のプロットは全体として散乱の度合いが大きい。

上記の「LAIが1に対して遮断蒸発量の差が20mmの関係の直線が点の分布の上限として見られること」の原因は、実験1の6時間降水では降水が生じていない時に、実験3では降水が降り続けている為、LAIが補足

できる $\text{LAI} \times 2 \text{ (mm)}$ の最大値まで遮断されていることを示している。

図5は図4と同様に、月降水量を横軸に、遮断蒸発量の差を縦軸にプロットしたものである。この図から、降水量の時間解像度への感度が高い場所は、月降水量が 100mm/mon 前後であることがわかる。月降水量がそれよりも大きい場合は、降雨日数がどの実験でも多くなり、実験間の降雨日数の差が小さくなる為に、遮断蒸発量の差が小さくすると解釈できる。加えて、葉面が遮断可能な容量が $\text{LAI} \times 2 \text{ (mm)}$ であるため、月降水量が 100mm/month よりも大きい場合は、いずれにしろその許容量を超えてしまいがちであり、降水量の大きさに対する感度が出なくなっているのであろう。

以上より、月降水量が 100mm 前後の場所では降水の時間解像度に対する感度が高く、 LAI が大きい方がそのポテンシャルが大きいということが結論づけられる。

5. LSM の感度からみた日降水配分法の検証

ここまでは ISLSCP-I データによる 6 時間ごとの降水量を与え、またそれを平準化することによって感度実験を行なったが、実際の応用を考えるとそのような高時間分解能データはそもそも存在せず、月雨量をいかに日雨量、あるいはそれ以下に分解するかが重要になる。過去のグローバルな水収支を算定した研究では、もっとも単純な手法としては一ヶ月の間等しい降水を与え続けており、何らかの工夫を行なった研究においては、水収支の視点からは特に検証もなく、経験的に γ 法が用いられることが多かった。本研究では、前節までの結果を踏まえた上で、この過去によく用いられてきた γ 法の妥当性を検討する。

(1) 実験方法

本節では、アメダスの観測降水量を用いて、MATSIRO の 1 グリッドにおける解析を行う。選定したグリッドは、月降水量が 100mm/mon 前後で、かつ LAI がある程度大きいという、前の実験で示された降水の時間解像度に対する感度が高い条件を満たしている千葉県房総半島付近である。グリッドの中心位置は 140.5°N , 35.5°E である。積分期間は、月降水量が 100mm/mon 前後である 1987 年の 5 月 1 日から 8 月 31 日までの 4 ヶ月間とした。

まず、グリッド内に含まれる観測所のうち、対象期間にデータのある 16 の観測所において、欠測を除いた全ての平均値を求めた。次に、観測所平均の一ヶ月の積算量と ISLSCP-I の同じ期間・グリッドの月降水量を比較し、ISLSCP-I の月降水量に合わせるように、アメダスデータに月ごとの一定の比率をかけて嵩上げた。

表 1 千葉県房総半島における感度実験の設定

実験名	日降水量の配分方法	降雨日数
(a)	観測値	観測値
(b)	等配分	降雨がある月は毎日
(c)	等配分	観測値
(d)	γ 分布	観測値

ここで月降水量を ISLSCP-I にあわせた理由は、前節までの実験結果と比較可能にするためである。

ここでは、月降水量から日降水量を作成するダウンスケーリング手法の適用性を見るために、表 1 にまとめたそれぞれの手法を用いて作成された日降水データを LSM(MATSIRO) にオフラインで与え、比較を行う。a) は観測値を用いたものであり、これを最も現実に近いシミュレーションと考え control 実験とする。b) は全球感度実験で行ったのと同様の降雨日数を考慮しない 1 ヶ月平均の等配分、c) は降水日数は観測値と同じものを用いるが、月降水量の配分を等配分にするもの、d) は降水日数は観測値と同じものを用いるが、月降水量の配分は γ 法で配分する手法である。以上の (b), (c), (d) の 3 種類の手法を用いて、月降水観測値から日降水量を求め、それぞれの手法と実験 (a) との比較検証を行う。今回の実験では特に降水量の配分手法に着目するため、降水日数の推定手法に関しては割愛し、(c) と (d) では観測された降水日数を使用している。

グローバルな水収支を求めた既往の研究において、良く使用されている月降水量を日降水量に配分する手法は、(d) の γ 分布を利用したものである。ここで、 γ 分布は次のような式で表わされる。

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)} \quad (1)$$

$$x \geq 0, \lambda = \frac{\bar{x}}{\sigma_x^2}, \beta = \frac{\bar{x}^2}{\sigma_x^2} \quad (2)$$

Γ : ガンマ関数, $\bar{x}$: 標本の平均値, σ_x^2 : 標本分布

λ 及び β の 2 パラメータは、各月ごとの日観測データから作成した。求めた月ごとの Γ 曲線に囲まれた面積を降水強度が低い値から積分し、降水の分布確率 $\times$ 降水日数の積分面積が 1 を超えるごとに順に降水強度を求めた。また、月降水量と γ 分布による日降水量の積算値が合うように、月最大の降水強度においてずれた分を調整した。こうして γ 分布から求めた日降水は、乱数を使って観測値で降水が生じた日にランダムに配置した。

(2) 結果

図 6 は、各実験における 4 ヶ月間の積算の陸面水収支を示す。全ての実験の月降水量は等しく、4 ヶ月間の月積算量は 508.8mm である。観測降水データを入力と

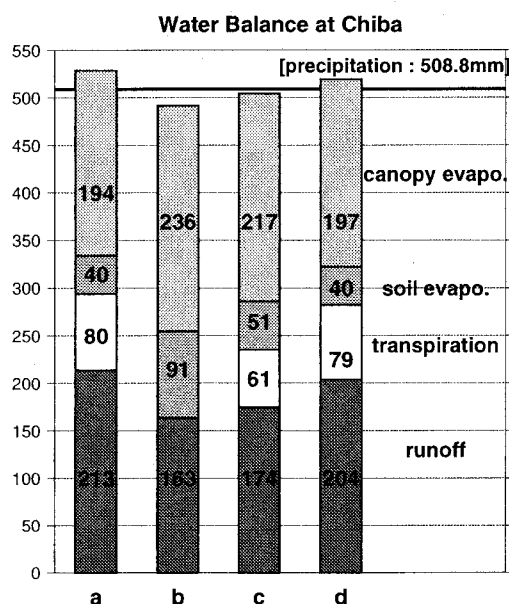


図6 降水配分手法とLSMの感度

して用いた実験(a)と比較すると、残りの3実験全てにおいて、流出量の減少と遮断蒸発量の増加が見られた。降水を毎日断続的に降らせる実験(b)では、常に葉に水が付着するために蒸散量がゼロとなっており、また最も遮断蒸発量が多かった。流出量にも2割程度の変化がみられた。降水強度に γ 関数を経験的にあてはめて分配した実験(d)は(a)との対応が非常に良く、地球規模の水収支の算定に妥当な精度で応用可能であることが示された。降水日数は観測値を用いているが、降水強度は月内の降水日に等分与えた実験(c)では、遮断蒸発量が(a)より多く、流出量は減少した。このことから、降水日数のみならず、 γ 法のような降水強度の適切な分配も適切な水収支算定には必要であることがわかる。

6. まとめ

本研究では、与えられる降雨の時間解像度に対するLSMの水文量(蒸発散, 流出量)算定の感度を、オフライン実験によって調べた。グローバル及びポイントの解析によって、下記のような知見が得られた。

- グローバルにどの地点においても、降水を弱く継続的に降らせることによって年間の遮断蒸発量が増加し、蒸散量は減少する。そのプラスマイナスの結果として、総蒸発散量は増加し、表面流出量は減少する傾向にある。
- LAIが大きい地点であるほど植生の遮断及び蒸散の効果が大きく、降水の時間解像度に対するLSMの感度は、ポテンシャルとしては大きくなる。しかし、全体的な傾向はばらつく。
- 月降水量が100mm前後の地点で降水の時間解像度に対するLSMの感度は最も大きく、月降水量がそれよりも少ない又は多い地点での感度は低

い。100mmという数値はLAI当たりの遮断能力によって規定される数字である可能性も高く、モデルによってある程度異なることも考えられる。

- γ 関数によって月降水を日降水に配分する手法は、観測降水量を与えた実験に非常に水収支が近く、グローバル水文量算定のためのダウンスケール手法として実用に耐える妥当なものであることが示された。

今回の実験では数ヶ月や年間の積算値について感度の比較を行ったが、今後水資源量としてこれらLSMの出力値を解釈するためには月単位や日単位での水収支の算定が量・タイミング共に適切に記述される必要があるため、さらに細かい時間スケールにおけるLSMの感度の入力降水量の時間スケールとの関連についても調べていく必要があると思われる。

謝辞: 本研究は総合地球環境学研究所平成14年度プロジェクト『地球環境情報ライブラリと世界モデルを統合した水危機管理システムの構築』(代表: 沖 大幹)ならびに科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業『人間活動を考慮した世界水循環水資源モデル』(代表: 沖 大幹)の成果の一部である。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) P. Xie and P. A. Arkin. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 78, pp. 2539-2558, 1997.
- 2) C. Prudhomme, N. Reynard, and S. Crooks. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now? *Hydrological Processes*, Vol. 16, pp. 1137-1150, 2002.
- 3) N. Sato and T. Nishimura. Global soil wetness project-sensitivity of a simulated water budget to temporal resolution of atmospheric forcings. *GEWEX News*, Vol. 5(2), pp. 1 & 4-5, 1995.
- 4) P. J. Sellers, Y. Mintz, Y. C. Sud, and A. Dalcher. A simple biosphere model(SiB) for use within general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 43, No. 6, pp. 505-531, 1986.
- 5) N. Sato, K. Mabuchi, and P. J. Sellers. Simulation of snow deposition and melting by and offline simple biosphere model, 1999. submitted.
- 6) K. Takata and S. Emori. Development of the minimal advanced treatments of surface interaction and runoff. *Global and Planetary Change*, 2001. submitted.
- 7) P. J. Sellers, B. W. Meeson, J. Closs, J. Collatz, F. Corprew, D. Dazlich, F. G. Hall, Y. Kerr, R. Koster, S. Los, K. Mitchell, J. McManus, D. Myers, K.-J. Sun, and P. Try. *ISLSCP Initiative I - Global Data Sets for Land-Atmosphere Models, 1987-1988*. CD-ROM by NASA, 1995.
- 8) G. E. Liston, Y. C. Sud, and G. Walker. Design of a global soil moisture initialization procedure for the simple biosphere model. *NASA Tech. Memo.*, Vol. 104590, p. 130, 1993.

(2002. 9. 30受付)