

水循環系の物理的ダウンスケーリング手法 の開発

研究代表者
小池 俊雄

水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発

東京大学大学院工学系研究科 小池俊雄

1. 研究の構想

1.1. 社会的背景

豪雨災害、水不足など水に関わる深刻な問題が世界各地で近年広がってきており 21 世紀は水危機の時代といわれている。同時に、人類が排出を続ける温室効果ガスによって気候変動が生じていることが確認され、その結果、豪雨頻度が増加し、渇水の影響を受ける領域が拡大し、熱帯低気圧の強度が増加する傾向が、20 世紀後半の観測データから確認されるとともに、将来についても数多くの気候変動予測モデル出力の統合解析によって示唆されている。

これら現状と将来における水循環変動、とりわけ、これまでのような防災・減災対策のみならず、モニタリングの強化と災害に強い社会構造への転換が必要である。その施策の一つは、水循環変動のメカニズムを理解し、その予測精度を向上させる科学的基盤を形成し、社会に対して危機回避の有用な情報を提供することである。

水循環はエネルギーフローとあわせて地球気候システムを形成する重要なサブシステムであり、全球規模、地域規模の水循環が流域規模の水文現象と密接に関係している。つまり、流域規模の降雨や河川流出は全球規模、地域規模の水循環変動の影響を色濃く受けている。したがって、たとえ流域規模の洪水や水不足の問題に対応する場合にも、全球規模、地域規模の水循環変動情報を効果的に流域規模の予測情報にダウンスケーリングする手法の開発が有用である。

一方途上国では、予測システムはおろか観測システムの整備も遅れており、地球観測データや全球規模、地域規模の水循環変動予測情報を用いた、各国、各河川流域規模の予測情報を抽出する手法の開発が有用である。

本研究は、全球規模、地域規模の水循環変動様相を取り込むために、海洋－陸面－大気結合全球モデルから分布型流出モデルまで物理的にダウンスケーリングする手法を、地球観測衛星データを数値気象予測モデルに同化する手法を開発することにより実現し、河川流域規模の極端事象の予測精度の向上と予測情報に基づく適切な河川・水資源管理情報を提供することを目的としている。

1.2. 科学的背景

全球規模、地域規模の予測情報を局所規模の情報にダウンスケーリングするために、数値気象予測モデル分野ではネスティングや、広域予測のための粗いグリッド規模のモデル出力の統計的性質と対象とする局所規模の観測データの統計的性質を合わせる手法が用いられてきた。しかしこれらの手法では、短期の数値予測において重要な初期値、つまり大気中の水蒸気量や雲水量、土壌水分量などの陸面水文条件を、対象とする狭域規模で物理的整合性をもって得ることはできず、それがゆえに広域規模の予測情報を効果的に狭域規模に利用し、その予測精度を向上するには至っていなかった。その理由は、全球規模で土壌水分の推定が困難なこと、また推定された土壌水分を数値モデル上で表現する手法が確立されていなかったことにある。さらには、大気中の水蒸気量や雲水量は海洋上では算定する手法が開発され、数値モデルへの導入も図られてきたが、大陸上での定量的観測手法は確立されていなかったからである。

また、より長期の数値予測においては、物理的妥当性と安定性を有する境界条件のモデル化が不可欠である。全球モデルの場合の境界条件は海面と陸面であり、海面の場合は海洋モデルと大気モデルを結合することによって境界条件を物理的整合性を持って作り出していく努力が重ねられてきた。一方、陸面の場合にも、鉛直一次元のエネルギー、水フローを記述するモデルが数多く提案されたが、陸面の多様性、とりわけ土壌の物理的性質や植生の季節変化については、十分な精度が確保されていないにもか

かわらず、全球的に利用可能であるという理由から選択されたデータセットの制約条件下で陸面モデルが開発され、数値予測に利用し、結果を観測データを用いて検証するという、いわば一方通行のシステムであった。観測データとモデル出力が整合する条件下でモデルパラメータを同定するなど、いわば双方向の検討による予測精度の向上は図られてこなかった。

近年の地球観測衛星によるリモートセンシングの発展は、これらの状況の改善に大きく貢献した。また、世界気候研究計画(WCRP)のプロジェクトとして実施された統合地球水循環強化観測期間(Coordinated Enhanced Observing Period (CEOP))プロジェクトの貢献も非常に大きい。このプロジェクトにおいて、2002年10月1日～2004年12月31日の2年3カ月間におよぶ、さまざまな気候条件下に分布する35か所のリファレンスサイトと衛星観測データと、11の数値気象予報センターのモデル出力が収集された。さらに同時に進められた平成15年度科学技術振興調整費先導的研究等の推進『地球水循環インフォマティクスの確立』により、点から三次元までの多種多様な数百テラバイトにおよぶCEOPデータがアーカイブされ、統合・解析する基盤の基礎研究が実施された。

1.3. 本研究の内容

本研究では、システム開発研究として、衛星マイクロ波放射計観測データを効果的に用いたデータ同化手法を開発し、このデータ同化手法を効果的に取り込んだ全球規模～地域規模～流域規模を一貫して記述できる物理的ダウンスケーリングシステムを開発した。このシステム開発は、以下の2つの研究領域から構成されており、それぞれ下記の研究項目を設定し、有用な成果を得た。また、研究全体の構造を以下に示す。

研究領域(1) 大気-陸面結合データ同化スキームの開発とダウンスケーリング

- 1) マイクロ波放射伝達モデルの開発 (陸面、大気)
- 2) 陸面データ同化システムの開発
- 3) 雲微物理データ同化システムの開発とダウンスケーリング
- 4) 大気-陸面結合データ同化手法の開発とダウンスケーリング

研究領域(2) 河川流出の予測と河川・水資源管理の最適化

- 1) 分布型流出モデルへの陸面スキームの導入
- 2) 水管理意思決定支援システムの開発

また、ダウンスケーリングシステムの開発、検証のためのチベット観測研究を実施し、2004年度に「チベット高原における春期～夏期集中観測実験」を実施し、得られたデータの品質チェック、アーカイブを行った。同時に、本研究で開発されるデータ同化、ダウンスケーリングシステムの地球規模の適用の可能性の研究、および水・エネルギー循環プロセスの理解と予測研究、モンスーンシステムの研究の推進のために、チベット観測を含め世界35の地上観測拠点を組織化して全球規模のリファレンスサイトネットを構築し、衛星機関、数値気象予報センターの協力を得てCEOPを実施した。



研究の全体構造

研究領域(1) 大気-陸面結合データ同化スキームの開発とダウンスケーリング(陸面:赤、雲微物理:青、ダウンスケーリング手法(緑))、研究領域(2) 河川流出の予測と河川・水資源管理の最適化(ピンク)

2. 研究手法

本研究では、国際プロジェクト「統合地球水循環強化観測期間プロジェクト(CEOP)」によって得られる、地上観測、衛星観測、数値気象予報モデルによる全地球の水循環系を記述する統合データセットを用いて、

- (1) 衛星観測のための放射伝達モデルと大気-陸面結合モデルを組み合わせた水循環系の大気-陸面結合データ同化スキームの開発と検証。
- (2) 衛星データを用いた水循環系データ同化システムから得られる地域規模、局所規模の初期条件をそれぞれ組みこんだ大循環モデル→領域モデル、領域モデル→局所モデルへの物理的ダウンスケーリング手法の開発と検証。
- (3) 局所スケールの大気-陸域相互作用予測モデルの出力を組みこんだ分布型流出モデルを用いた流出予測システムの開発と検証。

を実施することにより、地球規模から地域規模の変動を組みこんだ河川流域の流出予測精度の向上を目指す。

3. 研究成果と考察

3.1 大気-陸面結合データ同化スキームの開発とダウンスケーリング

1) マイクロ波放射伝達モデルの開発(陸面, 大気)

マイクロ波の放射伝達特性を詳しく理解するために、AMSR/AMSR-Eと同様の性能を持つ地上設置型マイクロ波放射計(GBMR)を用い、砂層を対象として、その厚さや含水量、砂層の下層境界条件を変化させて観測実験を実施した。東京大学農場(西東京市)の実験圃場に2つの地上マイクロ波放射計を設置し、両放射計の共通の観測フットプリントをターゲット領域とし(図1)、ここに金属板もしくは電波吸収剤を置き、その上に観測対象である砂層を築いた。その両隣はそれぞれの放射計の参照地面とした。土壌水分と地温は6本のTDRと10本の白金センサを用いて、鉛直、空間分布を計測し、地表面温度は赤外温度計を用いて計測した。なお、実験時には土壌のサンプリングを行い、土壌水分・土壌密度を計測した。

砂層は多くの球形粒子が密につめられたスラブ構造としてモデル化された。砂層を均一な媒体と仮定すると、放射伝達モデルは下記のように表現できる(L.Tsang et al.,1977):

$$\mu \frac{d}{d\tau} \begin{bmatrix} I_v(\tau, \mu) \\ I_h(\tau, \mu) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_v(\tau, \mu) \\ I_h(\tau, \mu) \end{bmatrix} - (1 - \omega_0) B(\tau) \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \frac{\omega_0}{2} \int_{-1}^1 \begin{bmatrix} P_{VV} & P_{VH} \\ P_{HV} & P_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_v(\tau, \mu') \\ I_h(\tau, \mu') \end{bmatrix} d\mu' \quad (1)$$

ここで、 $I_p(\tau, \mu)$ は光学的厚さ τ での放射強度、 ω_0 は単一散乱アルベド、 $B(\tau)$ は Plank の放射則、 P_{ij} は散乱位相関数である。

式(1)については、離散的な手法(G.Liu, 1998)と Henyey-Greenstein 位相関数を用いることによって効率よく解を得ることができる。表面散乱にはAIEMを、土壌粒子の体積散乱の計算には稠密媒体の放射伝達モデル(DMRT)を用いた。また、図2にあるように人工的に砂層表面に凹凸をつけ、観測角によって生じる陰が引き起こす地表面反射率の低下(Shadowing効果)を地表面粗度と関連付けて表面散乱モデルに取り入れた。

これまでは垂直偏波については絶対値、傾向とも良好な結果が得られているものの、水平偏波に関してはモデルの推定値が絶対値としては過小であ

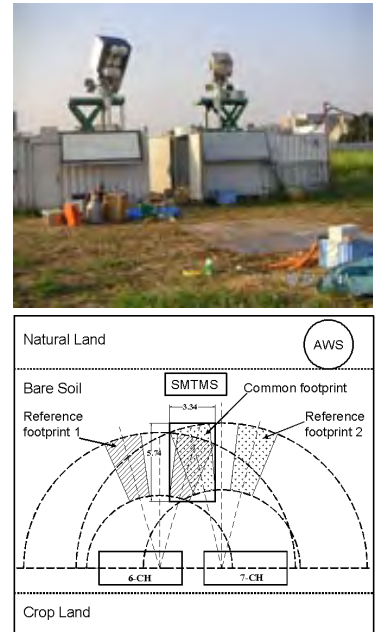


図1 2台のマイクロ波放射計による地上観測実験(上: 観測風景, 下: 共通のターゲット領域)



図2 地表面粗度の形成

るといった問題があったが、地表面でのShadowing効果を導入することにより、図3、4にみられるように水平、垂直両偏波で定量的に妥当な値が得られるようになり、定量的な推定精度が飛躍的に改善された。

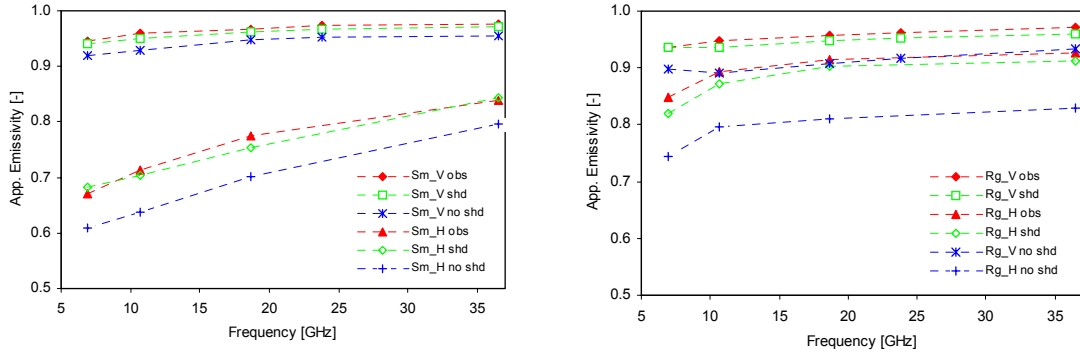


図3 Shadowing効果を含んだAIEMと稠密媒体の放射伝達モデル(DMRT)による砂層の放射伝達モデルの周波数ごとの見かけの放射率の検証結果(左:なめらかな面、右:人工粗度を付加した面)。観測値(赤)に対して、Shadowing効果を含まないもの(青)は特に水平偏波(+)で観測値から離れているのに対して、Shadowing効果を含む(緑)結果は水平(O)、垂直(□)偏波いずれも全周波数にわたって観測値に近い。

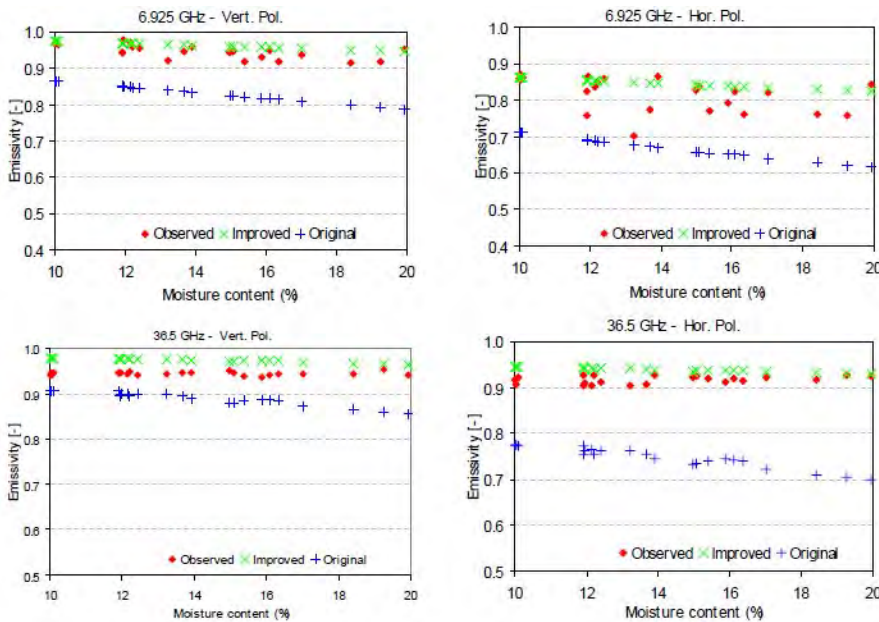


図4 CEOP モンゴルリファレンスサイトでの土壌マイクロ波放射伝達モデルの検証結果。6.9GHz(上段)、36.5GHz(下段)の垂直(左)、水平(右)偏波において、体積含水率10-20%まで観測放射率(●)に対して、Shadowingを含まないもの(+)は水平偏波で低めに推定されるが、Shadowingを含めた結果(x)は観測値とよく一致している。

植生は、土壌からの射出に対する減衰効果と植生自身の放射特性により衛星輝度温度に影響を与える。植生が考慮された従来のアプローチとして $\omega-\tau$ モデルがあるが、このモデルにおける更なるパラメータ($\omega \cdot \tau$)評価手法の改良は、土壌水分観測技術の改良だけではなく植生水分量と植生温度の評価手法を提供する。ここで ω は散乱特性、 τ は吸収特性を示し、 τ はNDVIに基づくLAIにより算定される植生水分量に基づき評価されるパラメータである。ここで ω は散乱特性、 τ は吸収特性を示し、 τ はNDVIに基づくLAIにより算定される植生の制限より未

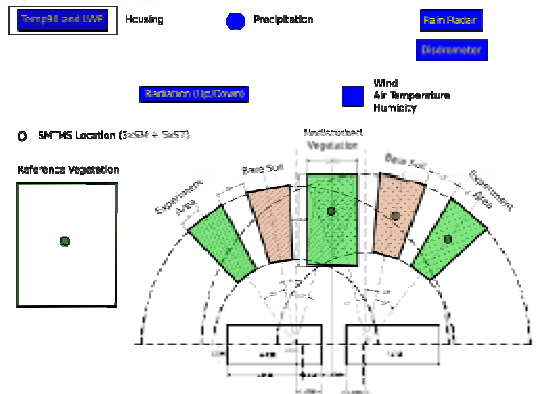


図5 東大農場における2台のマイクロ波放射計を用いた植生観測実験

だに課題が残された状況にあった。また、高い周波数が大気パラメータに強い感度を持つことから、通常、大気観測には、高周波数が用いられているが、地表面からの放射の影響を受け、現時点では定量的な計測が困難な状況にある。故に、陸面上の大気パラメータの観測において高周波数と低周波数の輝度温度を関連付けることのできるモデルの開発が必要となる。

以上より、土壤水分条件が比較的安定する寒候期に、植生として小麦を対象とし、図5に示すように異なる植生状態の複数領域を2台の地上マイクロ波放射計および可視・赤外放射計を用いて観測し、 ω 、 τ のパラメータ、低周波数と高周波数の関係を把握した。

2) 陸面データ同化システムの開発(土壤・植生)

陸面データ同化システムでは、まず大気モデルと陸面の結合に使われる鉛直一次元の陸面スキーム (SiB2、新SiB) や、積雪量変化や雪崩シミュレーションに用いられる積雪モデルにおける初期値を設定し、観測データや

	Opt	Obs
SAND	28.5	26
CLAY	37.6	43
WSAT	0.390	0.725
b	2.36	1.15
rms h	0.825	1.01
cor1	0.386	1.16
www1	0.30	0.3270

表1 同定されたパラメータ (Opt) と観測値 (Obs)

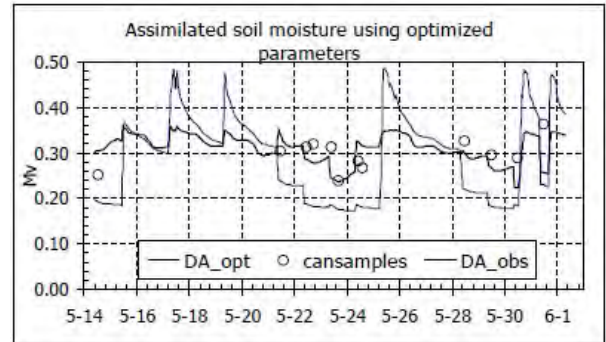


図6 小麦の濃い植生下での土壤水分のデータ同化結果 (太線: 2段階同化結果、細線: 通常の同化、○: 観測値)

数値気象予報モデルの出力を入力して、土壤水分や地温、積雪量や積雪温度などの土層、積雪層の状態量の変化を予測する。次に、この状態量の予測値を土層内および積雪層におけるマイクロ波放射伝達モデルに入力して衛星で観測されるマイクロ波輝度温度を算定する。このマイクロ波輝度温度の算定値と衛星搭載マイクロ波放射計観測値を比較し、その誤差が許容範囲に入るように様々な最適化手法

(Simulated Annealing 法 (焼きなまし法)、Ensemble Kalman Filter 法、Shuffled-Complex Evolution 法) を適用して妥当な初期値を推定している。

ただしここで用いられる陸面スキームには、透水係数や地表面粗度を記述するパラメータが含まれており、またマイクロ波放射伝達モデルにも地表面粗度や土粒子径、植生水分モデルパラメータなどが含まれており、そのパラメータの推定が鍵となる。そこで本研究では、長期間(数週間から数ヶ月)の同化ウィンドを設定して、モデルの鍵となるパラメータを同定し、そのパラメータを用いて、衛星データ取得ごとに土壤水分などを同化する2段階の陸面データ同化システムを開発した。

表1に見られるように、植生の2つのパラメータ (ω sat、b パラメータ) および粗度の相関長さ (cor1) には大きな差が認められるが、土壤水分の同化結果は、図6に見られるように2段階同化を行ったほうがよく一致している。そこで本手法を、CEOP チベット Gaize リファレンスサイトに適用し、リファレンスサイトデータと比較した結果を図7に示す。

データ同化による土壤水分は乾燥期間に過大推定となっているが、地温およびフラックスが適切に算定されていること、および微量の降雨が雨量計でも観測されていることから、表面の土壤水分はデータ同化結果のほうが適切で、観測値は5 cmの深さを計測しているために地表面値とは違いが生じているものと考えられる。

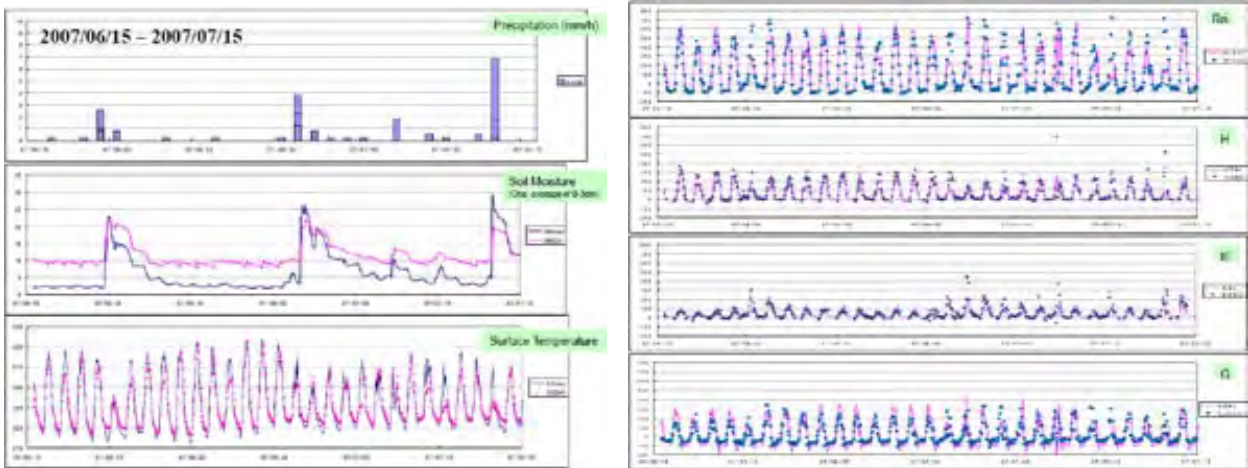


図7 CEOP チベット Gaize リファレンスサイトにおける2段階陸面データ同化の適用結果。ピンク線がデータ同化結果で青線が観測値。左上段より、降水量・土壌水分・地表面温度、右段上段より正味の放射収支・顕熱フラックス・潜熱フラックス、地中熱流量（フラックスはポーエン比により算定）。

3) 雲微物理データ同化システムの開発とダウンスケーリング

領域数値気象モデル（ARPS）に組み込まれているリンによる雲氷微物理過程モデルをモデル操作子（Model Operator）として、大気中の放射伝達モデル（4ストリームファーストモデル）、発見的な誤差最小化手法である Shuffled Complex Evolution（SCE）と AMSR-E データを用いた図8の雲微物理同化システムを開発した。そのシステムによる輝度温度の同化結果を図9に示す。

また図10は、2004年7月の新潟・福井豪雨の事例に当てはめた。全球モデル出力はNCEPのGlobal Forecast System（GFS）出力として、約5kmの水平解像度のARPSによってダウンスケーリングし、得られた雲水量、水蒸気量を初期値に組み込み、降雨の予測計算を行った結果で、高い精度の降雨予測を実現している。



図8 雲微物理データ同化のフロー

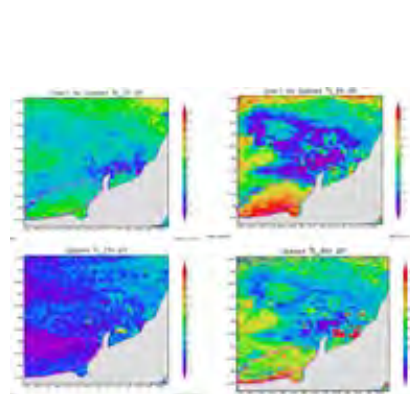


図9 輝度温度の同化結果（上段：同化前、下段：同化後、左：23GHz、右：89GHz）

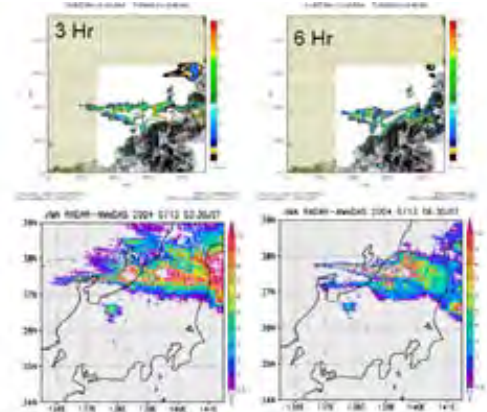


図10 雲微物理同化システムを組み込んだ物理的ダウンスケーリングによる豪雨予測（上段：3時間、6時間先の予測結果、下段：地上レーダによる降雨分布）

4) 大気-陸面結合データ同化手法の開発とダウンスケーリング

マイクロ波放射計による雲、水蒸気観測は、均一でマイクロ波輝度が低い海洋上では有効であるが、不均一性が著しく、強い陸面放射を背景とする陸域上の大気では不可能とされてきた。したがって本研究で開発した雲微物理データ同化手法も海洋上大気への利用が限定されていた。ただし、本研究では陸面データ同化により陸面放射を精度よく算定することができるため、この値を境界条件とする大気中のマイクロ波放射伝達モデルを開発し、その精度を検証することにより、陸域上大気でのマイクロ波放射

計を用いた雲微物理データ同化の実行可能性を検討する。

まず、大気の影響が少ない低周波数帯を使った陸面データ同化によって得られた低周波数帯での陸面放射率と、東大農場で得られた多周波観測によって得られたデータを用いて、高周波数帯の放射率を推定し、陸面の輝度温度を算定する。次に、陸面輝度温度を境界条件とする大気中のマイクロ波放射伝達モデルに、数値気象モデルARPSを全球モデルにネスティングして得られる大気プロファイル情報を入力して大気上端の輝度温度を算定する。この両者と衛星観測データを比較したのが図11で、低周波数側は観測値によく一致しているが、高周波数側は陸面輝度温度との差は大きくなる。大気の影響を導入した場合は、観測値に近くなる。すなわち大気モデルが大気状態を正しく推定した場合には観測輝度温度との差が小さくなることに着目し、陸面データ同化と雲微物理データ同化を組み合わせた2段階のデータ同化システムを開発し、チベット高原のCEOPリファレンスサイトを中心とするメソ領域に適用した。その結果を図12に示す。

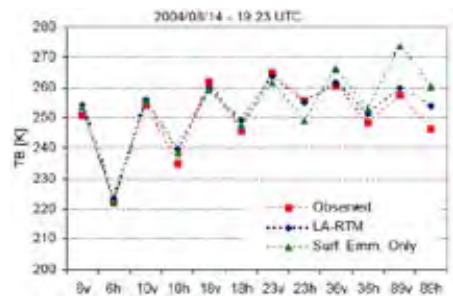


図11 周波数別の輝度温度（観測値：赤、陸面での輝度：緑、大気上端輝度：青）

以上のように、陸面データ同化と雲微物理データ同化を、陸面から大気までの連続したマイクロ波放射伝達モデルを用いて結合することにより、陸域大気上でのマイクロ波放射計による大気水文情報が得られ、これを初期値とする短期降雨予測が可能となる。

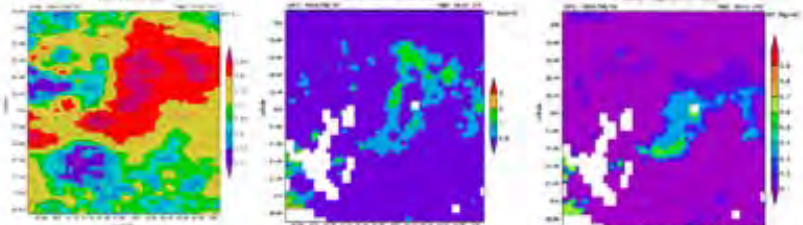


図12 大気-陸面結合データ同化の適用結果（左：静止衛星画像、中：同化された雲水量、右：同化された降水量）

(2) 河川流出の予測と河川・水資源管理の最適化

1) 分布型流出モデルへの陸面スキームの導入

鉛直1次元の水・エネルギーフローを表す陸面スキーム(SiB2)において、サブレイヤを導入して鉛直方向の水フローをより詳細に記述したうえで、流域斜面での表面流出、地中流出、地下水流出を記述する水平2次元水フローモデルを開発して陸面スキームに組み込んだ(図13)。これを等到達時間領域で流出計算を統合化する分布型流出モデル(GBHM)に組み込むことによって、物理的ダウンスケーリングの結果を用いて河川流出を予測できるシステムを開発した。図14、15はこのシステムを物理的ダウンスケーリングと切り

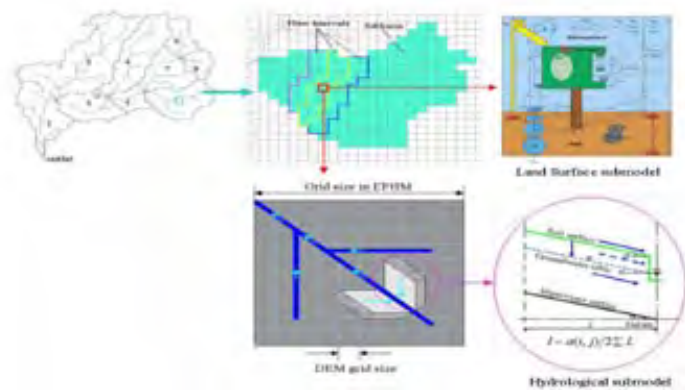


図13 陸面スキーム(SiB2)を組み込んだ分布型流出モデル(GBHM)の概要

離して、観測データを入力として、利根川上流域に適用した結果で、長期および短期、複数年にわたって流出量を適切に計算していることを示している。本モデルは、陸面でのエネルギー・水収支と河川流出を同時に高い精度で算定でき、水エネルギー収支分布型水文モデル(WEB-DHM)と名づけられる。

2) 水管理意思決定支援システムの開発

物理的ダウンスケーリングシステムを洪水防御や渇水管理になどのためのダム操作に適用するには、システムの予測精度を加味したダムの最適操作情報の提供が必要である。これまでの最適操作と

異なる点は、予測情報を用いるという点と、得られる情報が点情報でなく流域全体をカバーする面的分布情報であることである。本研究では、予測情報の誤差評価の部分に、Shuffled-Complex Evolution法を適用した手法を確立し、利根川上流域の複数のダムに関する概念的な場を設定し、実際の洪水データを用いて最適操作をシミュレートするシステムを開発した。図16はその一例で、容量の小さな菌原ダムでは事前放流を行っても洪水流入を完全には貯留できないが、藤原ダムの場合は洪水時のダム放流を完全に止めることができ、その結果両方のダムの下流に位置する岩本地点の洪水流量を効果的に低減させることができる。

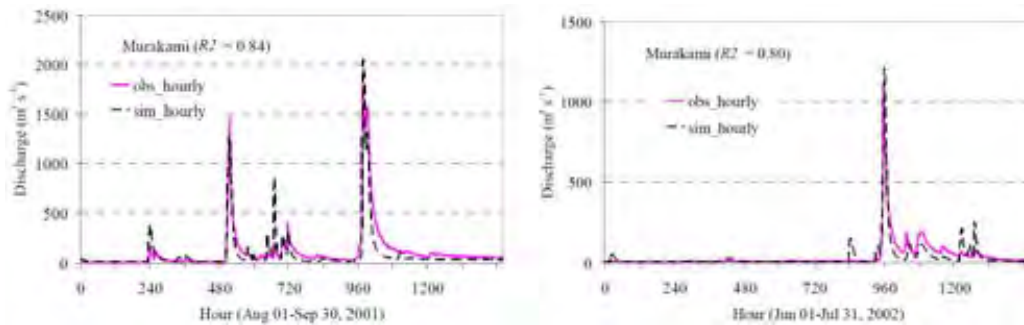


図14 2001年(左)と2002年(右)の利根川上流吾妻川村上地点の流出量(観測値:ピンク、計算値:黒破線)、R2はNash-Sutcliffeのモデル効率係数。

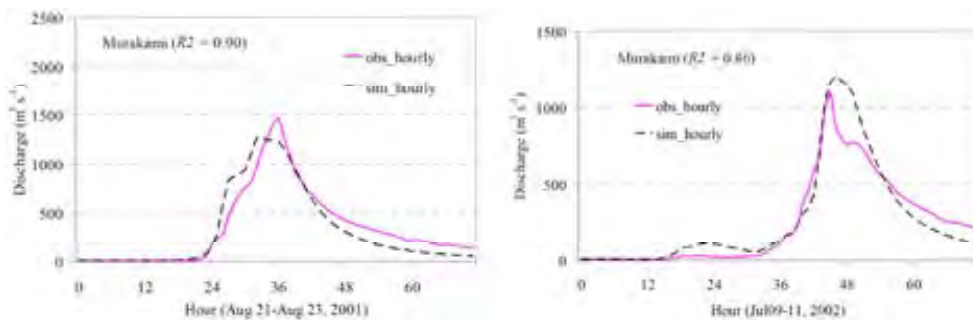


図15 2001年(左)と2002年(右)の利根川上流吾妻川村上地点の洪水ハイドログラフ(観測値:ピンク、計算値:黒破線)、R2はNash-Sutcliffeのモデル効率係数。

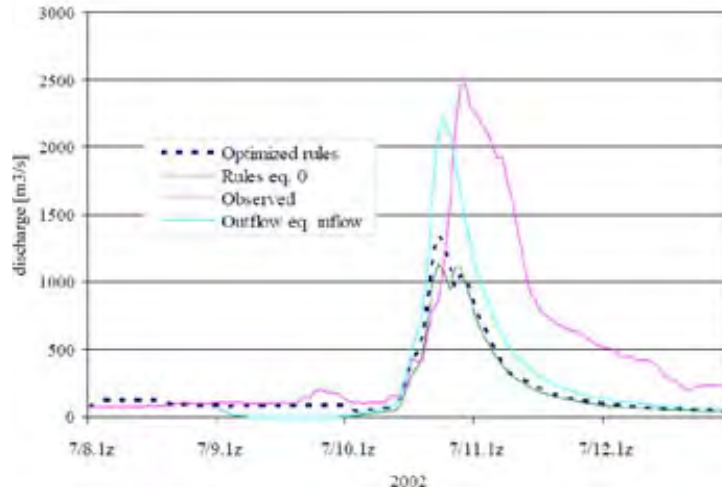


図 16-1

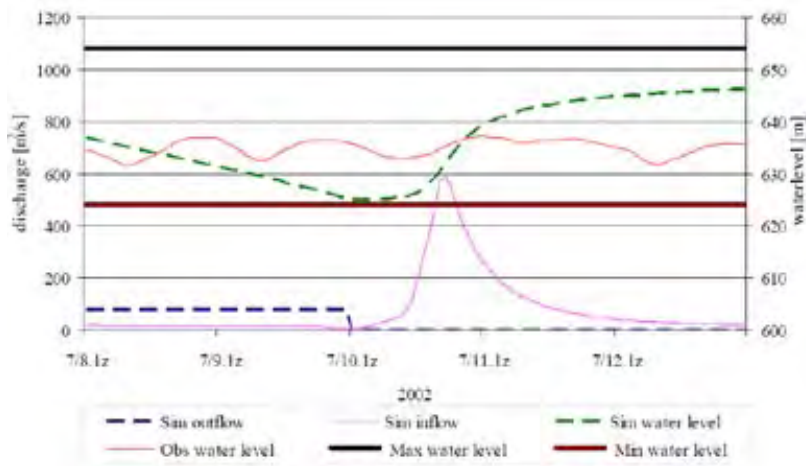


図 16-2

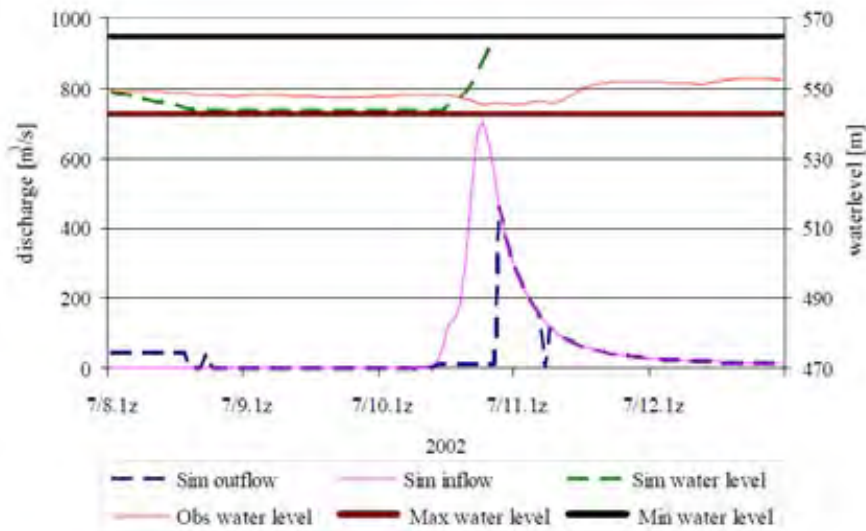


図 16-3

図 16 7～12 時間の降雨予測結果を用いてダム操作を最適化した場合の洪水流量の低減効果。
 16-1：岩本地点流量（ピンク：観測値、青：最適化しない場合の計算流量、破線：最適化後の流量、16-2：藤原ダム・16-3：菌原ダム（ピンク：流入量、黒破線：放流量、緑破線：貯水位）

4. まとめと今後の展開

本研究では、全球規模、地域規模の予測情報を河川流域管理に必要な局所規模の情報にダウンスケーリングして短期の数値予測を行う際に重要な初期値、つまり大気中の水蒸気量や雲水量や、土壌水分量などの陸面水文条件を、衛星観測を効果的に用いて対象とする狭域規模で物理的整合性をもって推定する手法を開発した。

まず陸面でのマイクロ放射伝達モデルの高度化と、それを含むデータ同化手法の開発によって、陸面モデル、放射伝達モデルに含まれるパラメータや、土壌水分やフラックスの最適手法を開発した。また、海洋上では、雲微物理データ同化手法を開発して、全球モデル出力と衛星搭載マイクロ波放射計観測データとメソスケールモデルを用いて、メソスケールモデルでの水蒸気量や雲水量の初期値推定精度を改善した。次に陸面データ同化手法と雲微物理データ同化手法を、大気-陸域の一貫したマイクロ波放射伝達モデルを用いて結合し、陸域でのマイクロ波放射計データを用いた雲微物理データ同化手法を開発した。さらに、海洋上や陸域上での衛星搭載マイクロ波放射計により雲微物理データ同化手法が、全球モデルを物理的にダウンスケーリングして河川流域管理に有用な局所的な降水量算定に有効な手法であることを示した。

一方、陸面データ同化に用いられた陸面スキームを分布型流出モデルに組み込み、陸面の水文状態と河川流出を同時に算定できる WEB-DHM を構築した。さらに洪水予測情報を用いたダム最適操作手法を開発して、洪水ピーク流量を低減と水資源を効果的に貯留するシステムを開発した。

本研究で開発された物理的ダウンスケーリングシステムは、観測が不十分な地域において、全球数値気象予測モデルと衛星観測データを組み合わせることで降水量の短期数値予測手法として有効であり、WEB-DHM および河川管理最適操作手法は、対象河川の基本的な情報が加わることによって効果的に適用することができる。

現在、GEOSS のもとでデータ統合・解析研究開発を国際的に展開していく目的で、アジア水循環イニシアチブ(AWCI)が立ち上げられており、18の河川がデモンストレーション流域として登録され、データのアーカイブが始まっており、本研究で開発された水循環系の物理的ダウンスケーリングシステム、河川管理システムを効果的に利用した各河川への適用研究が進められる。

5. 参考文献

- 1) L. Tsang and J. A. Kong, 1977: Theory of thermal microwave emission from a bounded medium containing spherical scatters, *Journal of Applied Physics*, vol. 48, 3593-3599.
- 2) G. Liu: A fast and Accurate Model for Microwave Radiance Calculations, 1998: *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.76, 2, 335-343.

6. 主要な成果報告書

(1) 論文発表

原著論文発表 (国内(和文)誌 19 件、国際(欧文)誌 22 件)
口頭発表 (国内会議 13 件、国際会議 81 件)
ポスター発表 (国際会議 34 件)

(2) 受賞等

- 1) 受賞: 小池俊雄: IPCC ノーベル平和賞受賞への貢献に対する表彰、2008 年 3 月
- 2) 新聞報道: ① 2007 年9月8日 KOMPAS(Web 版)インドネシア
② 2004 年8月 人民日報(Web 版)Tibet 総合科学
- 3) その他: 小池俊雄: 特集-3 わが国の土木技術はどう対応するか?“亜熱帯化する日本”に対処できる土木学とは、第 91 巻 第 6 号 土木学会誌 6 月号 2006 年, 137, pp.43-55, 2006 年 3 月.

(3) 取材等

2004 年 8 月 人民日報 (Web 版) Tibet 総合科学