

水循環予測に関連する主な数値モデル

はしがき

このリストは我が国で開発の進められている水循環関連の主な数値モデルを列挙したものである。モデル研究の現状を概観するとともに、関連する研究や先行する数値モデルを一覧し、研究の将来計画を立案する上での一助にすることを目的とする。このリストは水循環イニシャティブの登録課題担当者および水循環予測モデルプログラムの参加者に呼びかけて、収集整理した情報をまとめたものであり、必ずしも我が国の水循環モデルの網羅を目的としているわけではない。またモデルの説明には可能な限り個人名は出さないこととした。さらに掲載するモデルは以下の原則に従って選択した。

- ・原則としてモデルに関する論文・あるいは入手の容易な報告書があるもの。
- ・機能とコードが他と類似した亜種と考えられるモデルはリストからは除外する。
- ・統合モデルに組み込まれることを前提としたサブモデルはリストからは除外する。

また、モデル開発の進捗状況のレベルを次の3段階に分ける。

- ・開発レベル 1：モデルの開発の途中であり、モデルの機能がまだ完全ではない。
- ・開発レベル 2：開発レベル 1 と 3 の中間の状態。
- ・開発レベル 3：学会などで一定の評価があり、開発者以外の研究者も利用している。

リストに掲載するモデルは原則として開発レベル 2 と 3 とする。ただし、レベル 1 の中からモデルの目的等に特記すべき特徴のあるモデルについては、参考のためリストの後半（その 2）に一括して掲載した。なお後半（その 2）に掲載するモデルの選別にあたっては「地球規模水循環変動予測研究イニシャティブ・モデル開発プログラム中長期計画・達成すべき目標」を参考とした。関連文献は紙面の関係で略記し、題名などは巻末の引用文献に掲載した。

水循環モデルリスト（その 1：成熟段階にあるモデル）

モデル名：大気海洋結合モデル MRI-CGCM2

気象研究所気候研究部

開発レベル： 3

モデルの特徴：温暖化予測、気候変動予測。気象庁の現業モデルをベースにした T42L30（水平解像度 280km）の大気モデルに 2.5 度 x 2 度の海洋モデルを結合。河川格子網は T42 の大気モデル格子上で定義。陸面モデルは土壌中の水の相変化を考慮。

関連文献：Yukimoto et al. 2001: Pap. Meteor. Geophys., 51, 47-88.

モデル名：気象庁気象研統一大気モデル

気象研究所気候研究部

開発レベル： 2

モデルの特徴：気象庁数値予報課の短期予報モデルと気象研気候研究部の大気大循環モデルとの統一モデル。TL95L40 版（水平解像度 180km）が主であるが、TL959L60 版（全球 20km メッシュ）でも研究目的利用が開始されて気候モデル・高解像モデルとしての実績がある。TL959L60 版は気象庁の次期の短期数値予報モデルとなる。気象庁・気象研究所の海洋共用モデル MRI.COM と結合して MRI-CGCM3 が気象研で開発中。

関連文献：Mizuta et al. 2005: submitted to JMSJ.

モデル名：AFES (AGCM for the Earth Simulator)

海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター

開発レベル： 3

モデルの特徴：CCSR/NIES 5.4.02 を参考にし、地球シミュレータ用に書き直された大気大循環モデル。水平格子間隔約 10km での動作実績がある。Emanuel 積雲対流スキームなど独自の改良を含む。海洋機構のほか、北大、東大、山梨大、名大、共生第 7 課題のデータ同化モデル等で利用。

文献：Ohfuchi et al., 2005: EOS, 86, 45-46; Ohfuchi et al. 2004: J. Earth Simulator, 1, 8-34

モデル名称：NICAM(非静力学正二十面体大気モデル)

開発機関：地球フロンティア研究センター

開発レベル： 2

モデルの特徴：全球を数 km のメッシュで覆った全球雲解像大気モデルである。正 20 面体を分割して構築した準一様格子を採用しており、領域分割による並列効率に優れている。質量・エネルギーの保存を考慮した非静力学方程式スキームによって、長時間の雲解像計算が可能である。短期の予報モデルとしてだけでなく、長期の気候モデルとしても利用可能である。

関連文献：Tomita and Satoh(2004), Fluid Dyn. Res., 34, 357-400.

モデル名：20 kmメッシュ地域気候モデル
開発機関：気象研究所 環境応用気象研究部 開発レベル： 3
モデルの特徴：日本周辺の温暖化予測，気候変動の解析，20 kmメッシュの高分解能で日本周辺の詳細な気候変動予測が可能。
関連文献：Sasaki, H. ほか 2000: J. Meteor. Soc. Japan, 78, 477-489.

モデル名：領域大気海洋結合モデル（大気 20kmメッシュ）
開発機関：気象研究所 環境応用気象研究部 開発レベル： 2
モデルの特徴：日本周辺の温暖化予測，気候変動の解析．大気海洋相互作用を取り入れられる
関連文献：Sasaki, H. ほか, 2005 Abstracts WS of Regional Climate Model Studies, Soul.

モデル名：領域気候モデル TERC-RAMS(領域気候モデル)
地球フロンティア水循環研究領域・筑波大学 開発レベル： 3
モデルの特徴：オリジナルはコロラド州立大学の非静力学平衡モデルであるが，格子間隔が 200km から 1km 以下までの広い範囲をカバーし，長期積分に耐えられるように改造・改良されている．梅雨前線や東北アジアの乾燥域など地域の気候システムのメカニズム研究に多くの実績がある。
関連論文：Yoshikane ほか, 2001, J. Meteor. Soc. Japan, 79, 671-686.

モデル名：陸域統合型 NIES Integrated Catchment-based Eco-hydrology (NICE) model
開発機関：国立環境研 流域圏環境管理研究プロジェクト 開発レベル： 2
モデルの特徴：生態系の環境要因の分析をベースにして衛星データ・地上観測ステーション・統合モデルを結合することにより，持続可能な流域生態系の評価・予測・政策提言を行う。
関連文献：Water Resour. Res., 40, 8, W08402, 2004.

モデル名：SPAC モデル（土壌・植物・大気総合モデル）
地球フロンティア水循環研究領域 開発レベル： 2
モデルの特徴：根系を詳細に扱い，土壌・流出特性を蒸散に反映できる水文モデル。
関連文献：Tanaka et al., 2004, The impact of rooting depth and soil... J. Geophys. Res. Atmos.

モデル名：無名（積雪水文モデル）
地球フロンティア水循環研究領域 開発レベル： 2
モデルの特徴：ルーチンデータを基本に積雪分布・水文過程を予測するモデル，衛星マップによる検証に特徴がある。
関連文献：Motoya et al., 2001: Japan, Hydrological Processes, 15, pp2101-2129.

モデル名：SIFEC（特性曲線型有限要素法を用いた塩水浸入解析モデル）
総合地球環境学研究所・信州大学 開発レベル： 2
モデルの特徴：既に開発していた密度依存地下水流動モデル（2次元，物理モデル）および物質輸送モデルを帯水層への塩水浸入解析用に改良し，海面上昇と低平地の灌漑との関係が精緻に分析できるように工夫している．本モデルをトルコのセイハン川下流チュクロバ平野への適用を進め，海面上昇が低平地の地下水流動と海水浸入，地下水の塩分濃度分布に与える影響を解析している。
関連文献：海面上昇がゼロメートル地帯に及ぼす影響を予測するための塩水浸入数値解析モデル，土木学会論文集，2005/5，掲載予定

モデル名：SVAT-HYCY
地球フロンティア水循環領域・総合地球環境学研究所 開発レベル： 3
モデルの特徴：一次元の熱収支及び水収支を様々な陸面条件下で再現でき，かつ気候モデルとのリンクを想定，河川系の遅れ時間を考慮した水文・水資源モデル．湿潤地・乾燥地の違い，熱帯域・寒冷地・乾燥地の相違を問わず適用可能であり，河川流出量と蒸発散量だけでなく，積雪・融雪量，永久凍土帯の活動層変化，土壌の乾燥度，河川の凍結・融解まで予報可能．レナ河（シベリア），トーネ&カリックス河（フィンランド），乾燥圏セレンゲ河（モンゴル），熱帯モンスーン帯・サグリン河（ジャワ，インドネシア）で実績がある。
関連文献：Ma and Fukushima (2002) Water Resources Publications, LLC., 433-470.

モデル名：全球河川モデル(TRIP)
開発機関：総合地球環境学研究所・東京大学 開発レベル： 3
モデルの特徴：全球1度及び0.5度で河川流量を算定する．世界水資源アセスメント及び気候モデルのサブモデルとして使用可能．世界の大ダムの影響も導入済み．過去100年の全球流量変動も算定された。
関連文献：Oki, et al. 1999, J. Meteor. Soc. Japan, 77, 235-255, 1999.

モデル名：全球2次元水の安定同位体循環モデル

開発機関：総合地球環境学研究所・東京大学

開発レベル： 3

モデルの特徴：全球の大気の再解析データ（あるいはGCMの出力）をベースとして、その中で水(HとO)の安定同位体がどのように循環しているかが計算される。降水や蒸発などの水の移動の起源特定に効力を発揮する。
関連文献：Yoshimura, et al., 2003, J. Geophys. Res., 108(D20), 4647.

モデル名：全球窒素循環モデル（特に固有名詞なし）

開発機関：総合地球環境学研究所・東京大学

開発レベル： 2

モデルの特徴：全球陸上の窒素の循環、特に人為的な施肥の河川水への影響をシミュレートすることを目的とする。できるだけ経験式や原単位手法を排除しプロセスベースとした。

関連文献：須賀 可人ほか 水工学論文集, 49, 1495-1500, 2005.

モデル名：セル分布型流出モデル

開発機関：京都大学防災研究所、岐阜大学流域圏科学研究センター

開発レベル： 3

モデルの特徴：河川流域を10m~250mの正方形グリッドセルに分割し、グリッドセル毎に雨水の流れを追跡する分布型流出モデルである。水理学的基礎を持つkinematic wave法を用いて各グリッドセルの雨水追跡を行うことにより、物理学的見地から山腹斜面の降水流出過程を表現している。

関連文献：<http://flood.dpri.kyoto-u.ac.jp/product/cellModel/cellModel.html>

モデル名：水文モデル構築システム(OHyMoS, Object-oriented Hydrologic Modeling System)

開発機関：京都大学大学院工学研究科、京都大学防災研究所

開発レベル： 3

モデルの特徴：流域の多様性に応じて、自由に要素モデルを組み合わせて水文モデルを構成することを可能とするモデリングシステムである。すでに開発された水文要素モデルと独自に開発する水文要素モデルとを組み合わせる柔軟に水文モデルを開発することができる。

関連文献：<http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/ohymos.html>

水循環モデルリスト（その2：開発中の水循環モデル）

モデル名：雲解像地域気候モデル（大気5kmメッシュ）

開発機関：気象研究所 環境応用気象研究部

開発レベル： 1

モデルの特徴：集中豪雨などの極端な現象についての温暖化予測を行う。気候変動の解析。精密な雲物理過程を導入詳細な地形に対する応答を計算できる。

関連文献：

モデル名：高解像度大気海洋結合モデル（T213）／東アジア域大気・陸域・海洋水循環統合モデル

開発機関：独立行政法人 防災科学技術研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：東アジア域（特に、タイ国チャオプラヤ川流域と長江流域）の水循環が気候変動や人為的な灌漑・ダム建設に伴ってどのように変質するのかを予測する。大気海洋結合モデルのデータをMM5にダウンスケーリングし、広域水収支モデルに詳細な降水量等を受け渡すone-wayのモデル。

関連文献：

モデル名：メコン河の塩水遡上モデル

開発機関：東京農工大学

開発レベル： 1

モデルの特徴：メコン河での塩水遡上のモデル化。差分法をベースにした鉛直多層流モデルと水平多列流モデルを作成中。

関連文献：農業土木論文集に投稿中

モデル名：

開発機関：東京大学 都市工学

開発レベル： 1

モデルの特徴：都市域における雨水浸透施設レベルでの流出モデルとそれに伴い移動する都市ノンポイント汚染物質の動態評価モデル。現在構築中。都市域の下水道排水区に特化した水文モデル。

関連文献：

モデル名：BTOPMC

開発機関：山梨大学

開発レベル： 1

モデルの特徴：山梨水文モデル YHyM の中核モデルとして開発された、傾斜地形の大流域に適用可能な分布型流出モデルである。流出発生には単流域用に開発された、地形指標を用いる TOP モデルを、グリッドセル型に拡張し、大流域に適用可能にしている。河道追跡には Muskingum-Cunge 法を用いて、負の流量が出る問題は、時空間グリッドの再分割で対応している。数 100m から 5-6km メッシュで、富士川、メコン、黄河など各種流域にすでに適用している。

関連文献：

モデル名：Maichun's PE Model

開発機関：山梨大学

開発レベル： 1

モデルの特徴：土地被覆を考慮した可能蒸発散量算定モデルで、Shuttleworth-Wallace Model を基本にし、IGBP による 17 クラスの土地被覆ごとに、アルベド、LAI、被覆割合などを、百を超える観測結果の報告から、係数の範囲を整理・特定している。これに基づき、可能林床+樹冠蒸発散量と、可能遮断蒸発量が算定できる。LAI は衛星観測の NDVI を用い、日変化の算定が可能である。

関連文献：

モデル名：HydroBEAM (Hydrological River Basin Assessment Model)

京都大学 防災研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：流域の総合管理への基礎情報の提供を目的とし、自然的、人為的条件下での流域水動態の把握を行う。大気層、地表面層、地下水層を 3 次元的に捕らえると共に、短期から長期流量変動までを同時に解析する。さらに、人間活動に伴う水質、化学物質濃度変化を推定し、流域内生態系への影響評価を明らかにする。

関連文献：

モデル名：雨量予報による河川流出予測モデル

国土技術政策総合研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：気象予報データの水管理への利用 概要：各河川流域では河川情報システムに集積された降水量、水位・流量、ダム諸量から貯留関数モデルによって計算が行われている。必要に応じて分布型の流出モデル開発も試みている。

関連文献：

モデル名：IMPAM (灌漑管理実効評価モデル)

総合地球環境学研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：灌漑地を中心とする農地における水の利用と動態を表現し、農業用水管理が地域水収支に与える影響を評価する。現状における水管理が周辺水環境に与える影響を評価するのみならず、現状の水管理を変更することによって引き起こされる水環境変化の予測も可能。作物の種類、作付けパターン、灌漑・排水の管理、施設の物理的特性や空間的配置、日気象データなどを主な入力項目とし、地下水位・土壌水分・蒸発散量の空間的分布と時間的变化、作物収量の空間的分布、水路からの漏水量、灌漑地区からの総排水量などを算出する。

関連文献：

モデル名：食料自給水資源モデル

農水省 国際農林業研究センター

開発レベル： 1

モデルの特徴：水資源が食料生産と食料需給に与える影響を予測する。これは、世界食料需給モデル (大賀モデル) に、水資源の影響を加味したもので、降雨による作付け面積の変化を通じて、水資源が食料生産に与える影響を評価する。また、将来予測のために蒸発散量を確率変数として与える確率モデル化がなされた。現在は、メコン川流域のラオスとカンボジアで適用されている。

関連文献：Furuya and Koyama 2004 Proc. Int. WS on global-scale changes in water cycle and food production.

モデル名称：灌漑施設の水需要～生産モデル

農業工学研究所

開発レベル： 1

モデルの概要：このタイプのモデルは数多く存在するが、小流域か 100 km メッシュなどの広範囲を対象にしたものが多く、その中間の検討は比較的少ない。メコン川の氾濫域とそれ以外とにモデルを大別しているのが特徴。全地球モデルでは FAO などのデータを利用してモデル化を行う。

関連文献：宗村広昭ほか 2005 水工学論文集, 49

モデル名：広域農業水資源モデル

開発機関：農業環境技術研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：2001年より開発を開始したオリジナルモデルであり、東ユーラシアを対象とした、広域の農業水資源量の評価や予測を目的としている。グローバルな気象データ、土地利用情報などを入力データとして、農耕地における土壌水分量、灌漑要水量、灌漑利用可能水資源量などが、小流域単位で評価できる。

関連文献：

モデル名：水循環変動を考慮した食料需給モデル

開発機関：農業環境技術研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：農業工学研究所、国際農林水産業研究センター、森林総合研究所と共同でモデル開発を進めている。水循環変動によるメコン川中・下流域の食料生産（主として水稻）変動が、世界の食料需給に及ぼす影響を評価・予測するためのモデルであり、2007年度の完成を目指している。

関連文献：

モデル名称：農地水利用を組み込んだ分布型水循環モデル

開発機関：農業工学研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：水-食料需給モデルの1要素として、分布型流出モデルに農地水利用を組み込んだモデルを開発している。日単位で各メッシュの利用可能水量が推定できる。農業水利用量を単純に算定する従来の水需給モデルとは異なり、農地水利用方式は6種の灌漑、3種の天水田利用に分類されており、それらを考慮した特徴的な農地水利用メカニズムが組み込まれている。メコン河流域を0.1度メッシュに分割してモデルの適用を行っている。

関連文献：

モデル名称：低平水田地帯解析のための二次元氾濫湛水モデル

開発機関：農業工学研究所

開発レベル： 1

モデルの特徴：氾濫と農地水利用の関係を調べるための2次元有限要素法による低平地氾濫湛水モデルを開発した。メコン河下流域のトンレサップ湖およびその周辺の氾濫域を対象に、2000年（洪水年）、2003年（渇水年）について適用性の検討を行った。氾濫部は2,500~5,000m、河道部は200~450mにメッシュ分割されており、道路や堤防の効果も組み込まれている。

関連文献：Pham Tanh Hai, et al., Evaluation of Flood Regulation Role of Paddies in the Lower Mekong River Basin Using a 2D Flood Simulation Model, 水工学論文集, 2006, 掲載予定

モデル名称：水量・水質統合モデル

開発機関：九州大学

開発レベル： 1

モデルの特徴：黄河流域の自然系水循環を解明するために開発されたGBHM2（10km grid分布型水文モデル）の渭河流域部分を2.5km gridで抽出し、同流域の人工系の水利用形態を組み込んだ分布型水文モデルとEPICモデルをSWIMの構造に基づき統合し、さらに一次元移流分散方程式から構成される水質モデルを結合したモデル。河川流量、各種水質項目（SS, BOD5, DO, NH4+-N, NO3--N）、地下水位、食糧生産量、点源及び面源からの汚濁物質負荷量等の出力が可能。なお、従来のSWIMを構成する水循環モデルは、適用可能流域面積が100-10,000km²に限られるが、ここではGBHM2を代用することで、これを克服した。

関連文献：東修ほか 環境工学研究論文集、Vol.41, pp.693

