

SiBUC Manual 利用編 ver1.0

—Part1: モデル入力データの作成と陸面過程解析の方法—

SiBUC Manual Analyzer's Edition ver1.0

—How to Generate Land Surface Data Sets and Simulate using SiBUC—

小槻峻司⁽¹⁾・峠嘉哉⁽¹⁾・萬和明⁽¹⁾・相馬一義⁽²⁾・甲山治⁽³⁾・田中賢治

Shunji KOTSUKI⁽¹⁾, Yoshiya TOUGE⁽¹⁾, Kazuaki YOROZU⁽¹⁾,
Kazuyoshi SOUMA⁽²⁾, Osamu KOZAN⁽³⁾ and Kenji TANAKA

(1) 京都大学大学院 工学研究科

(2) 山梨大学大学院 医学工学総合研究部

(3) 京都大学 東南アジア研究所

(1) Graduate School of Engineering, Kyoto University

(2) Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi

(3) Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

Synopsis

This document describes the way to generate land surface parameters and simulate using SiBUC. The document provides the information about model intercomparison projects which SiBUC participated, and about previous studies using SiBUC. The document guides users to understand the original data, the flows to process those original data, the flows to run the SiBUC, and the way to process the output from SiBUC. The document also guides the users to understand the way to visualize the generated land surface data and processed output data from SiBUC simulations.

キーワード: SiBUC, 陸面過程モデル, ユーザーマニュアル, 作画

Keywords: SiBUC, land surface model, user manual, visualization

1. 序論

近年、人口増加に伴って世界の食糧需要量は大きく増加している。灌漑農地は、多量な水を消費するデメリットを有する一方で食糧生産性に優れる。世界では総農地面積の約2割の灌漑農地から、約4割の食糧が生産されている。2050年には90億人にも達すると予測される人口を養う上では、灌漑農地における農業水需要量を把握すること、また供給量としての水資源量を把握することが重要である。水資源量を把握する観点からは、地表面に於いて降水量に対

する蒸発・流出のバランスを解く必要がある。

一方で、地表面の水・熱収支は、地球上の水・熱循環にとっても重要な役割を持つ。例えば、水循環の視点から見た地表面の蒸発散は、地表に到達した降水が水蒸気となって大気へ戻る過程であり、表層土壌を乾燥させて土壌層の浸透能を回復させ、降雨流出の形態を変化させる。熱循環の視点から見た蒸発散は、地表面で得た気化熱を大気へ輸送する過程であり、地表面が太陽から得た熱エネルギーを再分配させる働きがある。

その様な背景の元、陸面過程モデル(Land surface

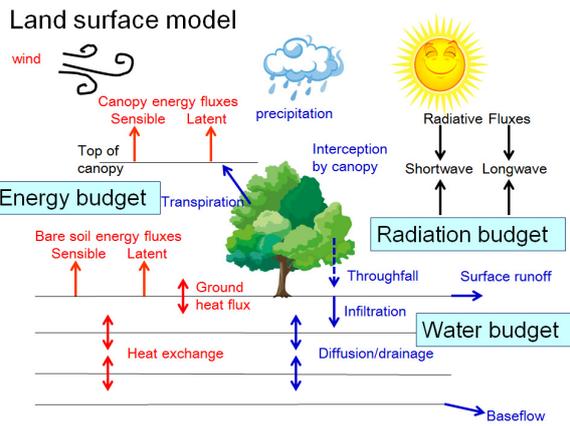


Fig 1. Schematic image of land surface process. Energy, radiation, and water budgets are calculated in the process.

model: LSM)は、陸域水循環モデルや大気水循環モデルの地表面境界を解くモデルとして開発されてきた。陸面過程モデルは、非常におおざっぱな言い方をすれば、大気側からの気象強制力を条件に、地表面の放射収支・水収支・熱収支を解くモデルである (Fig.1)。気象強制力には、降水・気温・短波放射・長波放射・比湿・大気圧・風速が用いられる (モデルによっては、地表面アルベドや射出率を入力とすることもある)。

京都大学防災研究所・水資源環境センターを中心とした研究チームにより、陸面過程モデル SiBUC (Simple Biosphere model including Urban Canopy; Tanaka, 2004) が開発されてきた。SiBUCは地表面状態を緑地・都市・水体の3つのカテゴリーに分類し、各グリッドにそれらの混在を認めるモザイクスキームを採用したモデルである (Fig.2)。

1.1 本資料の目的

本資料では、SiBUCを利用する為の方法について

Table 1. The MIPs (model intercomparison projects) which SiBUC have participated.

| Name of the projects | Year | Target area | Processes | Related papers |
|----------------------|-------|--|--------------------------------------|----------------------|
| Lake Biwa | 1994 | The Lake Biwa Basin (sites) | Paddy field | 田中ら(2000) |
| RhoneAGG | 2001 | Alps (basin) | Impacts of spatial resolution of LSM | Boone et al. (2004) |
| GSWP2 | 2003 | Global soil wetness (sites) | Soil moisture | 萬ら(2006) |
| SnowMIP2 | 2008 | Hitsujigaoka, Hyytiala, Alptal, Bearms, Fraser (sites) | Snow melt and assimilation | Rutter et al. (2009) |
| ADMIP | 2010- | West China and Mongolia (sites) | Asian dryland | 萬ら(2011) |
| ALMIP2 | 2012- | The Niger River Basin (sites and basin) | African Monsoon (Arid and semi-arid) | To be published |

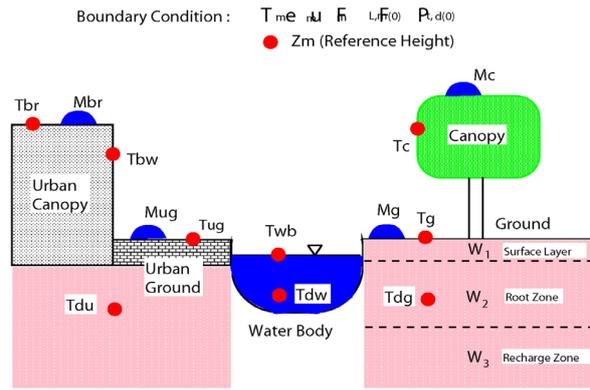


Fig 2. Schematic image of the SiBUC, which uses mosaic scheme. Each grid is divided into three land cover categories (water body, green area, and urban area).

解説する。具体的には、計算に要する地表面パラメータや気象強制力の作成方法、入力データを用いた SiBUCの解析方法、SiBUC出力の代表的な処理方法を説明する。また、入力データや出力データの作画方法についても説明する。SiBUCの詳しいモデルの説明や支配方程式の記述については、Tanaka(2004)を参照されたい。論文については、以下より取得可能である。(http://rwes.dpri.kyoto-u.ac.jp/~tanaka/sibuc/sibuc-web.pdf)

本資料の目的は、マニュアルを公開の上、読者に興味を持って頂き、SiBUCユーザーの拡大につなげることである。加えて、本資料ではSiBUCの解析出力についても説明を加えており、その出力を使うといった研究協力にも発展できればと考えている。

1.2 読者への注意とお願い

まず注意点である。これまで開発者らは、注意深くソースコードを開発してきたが、SiBUCには依然

Table 2. Previous studies using SiBUC and their coupled models, discussed phenomenon or processes, and references.

| Applied Area | Coupled Model | | | Discussed phenomena or processes | | | | | | | | Reference |
|---------------------------|---------------|-----|-----|----------------------------------|----|-----|----|----|-----|-----|----|------------------------|
| | Atm | Riv | Crp | DA | HI | Frc | SM | ET | Rof | IRR | CC | |
| Tokyo, JP | ○ | | | | ○ | | | | | | | Souma et al. (2013) |
| | ○ | | | | ○ | | ○ | | | | | 相馬ら (2013) |
| | ○ | | | | ○ | | ○ | | | | | 藤井ら(2011) |
| Niigata, JP | | | ○ | | | | ○ | ○ | | | | 萬ら(2010) |
| Lake Biwa, JP | ○ | | | | | | | ○ | | | | 相馬ら(2004) |
| | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | 田中ら(2001a) |
| | | | | | | ○ | | ○ | | | | Tanaka et al. (2003) |
| | | | | | | ○ | | ○ | ○ | ○ | | Tanaka et al. (2001) |
| Central Japan | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | 相馬ら(2006) |
| Entire Japan | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | Souma et al. (2008) |
| | | ○ | ○ | | | ○ | | | ○ | ○ | | 小槻ら(2013b, c) |
| | | ○ | ○ | | | ○ | | | ○ | ○ | ○ | Kotsuki et al. (2013b) |
| Southeast Asia | | ○ | | | | | | | ○ | ○ | | 小槻ら(2011) |
| | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | Kotsuki et al. (2013c) |
| | | | | | | ○ | | ○ | ○ | | | Kotsuki et al. (2013a) |
| Asian Dryland | | | | ○ | | | ○ | ○ | | | | 萬ら(2011) |
| Huaihe River (China) | | | | | | | ○ | | ○ | ○ | | 甲山ら(2004) |
| | ○ | | | | | ○ | | | | | | 田中ら(1998) |
| | | | | ○ | | | ○ | | | | | 田中ら(2001b) |
| Turkey | | | | | | ○ | | ○ | ○ | ○ | | Tanaka et al. (2006) |
| Aral Sea | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | 峠ら (2011, 2012, 2013) |
| Nile River | | ○ | | | | ○ | | ○ | ○ | | | 浅野 (2013) |
| | | ○ | | | | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | 安倍ら(2012) |
| Niger Riv. | | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | To be published |
| Tibetan Plateau / Siberia | | | | | | | ○ | ○ | | | | 渡辺ら(2003) |
| Global | | | | | | ○ | ○ | ○ | | ○ | | 萬ら(2006, 2009) |
| | | ○ | | | | ○ | | | ○ | ○ | | 小槻ら (2012) |
| | | | | | | ○ | | ○ | | ○ | | 小槻ら (2013a, d) |

Atm: Atmospheric models, Riv: River routing models, Crp: Crop growth models

DA: Data assimilation, HI: Heat islands and heavy rainfall, Frc: Meteorological forcing for LSM, SM: Soil moisture,

ET: Evapotranspiration, Rof: Runoff (river discharge, water resources), IRR: Irrigation, CC: Climate change

としてバグがある可能性がある。また、開発者らは SiBUC の性能向上に努力してきたが、まだ SiBUC の計算結果は現実と大きく異なるかもしれない。これらがもたらす読者の不利益に対し、開発者は一切の責任を負わない。あくまでも利用者の責任で SiBUC を利用して戴きたい。

次をお願いである。この資料については、開発者らの手により作成された。可能な限り分かり易く記述したつもりであるが、SiBUC を初めて扱う読者に

は難解な記述もあるかもしれない。その場合は、難解であった場所を、開発者らに伝えて欲しい。加えて、SiBUC は改良・拡張の余地を無限に残している。もし、あなたが SiBUC の改良・拡張に成功し、その成果を SiBUC のユーザーに還元する事を望むならば、是非開発者らに連絡して頂きたい。双方の権利についてよく相談した後、その成果を SiBUC の改良版に反映すべく、出来る限りの努力をする。

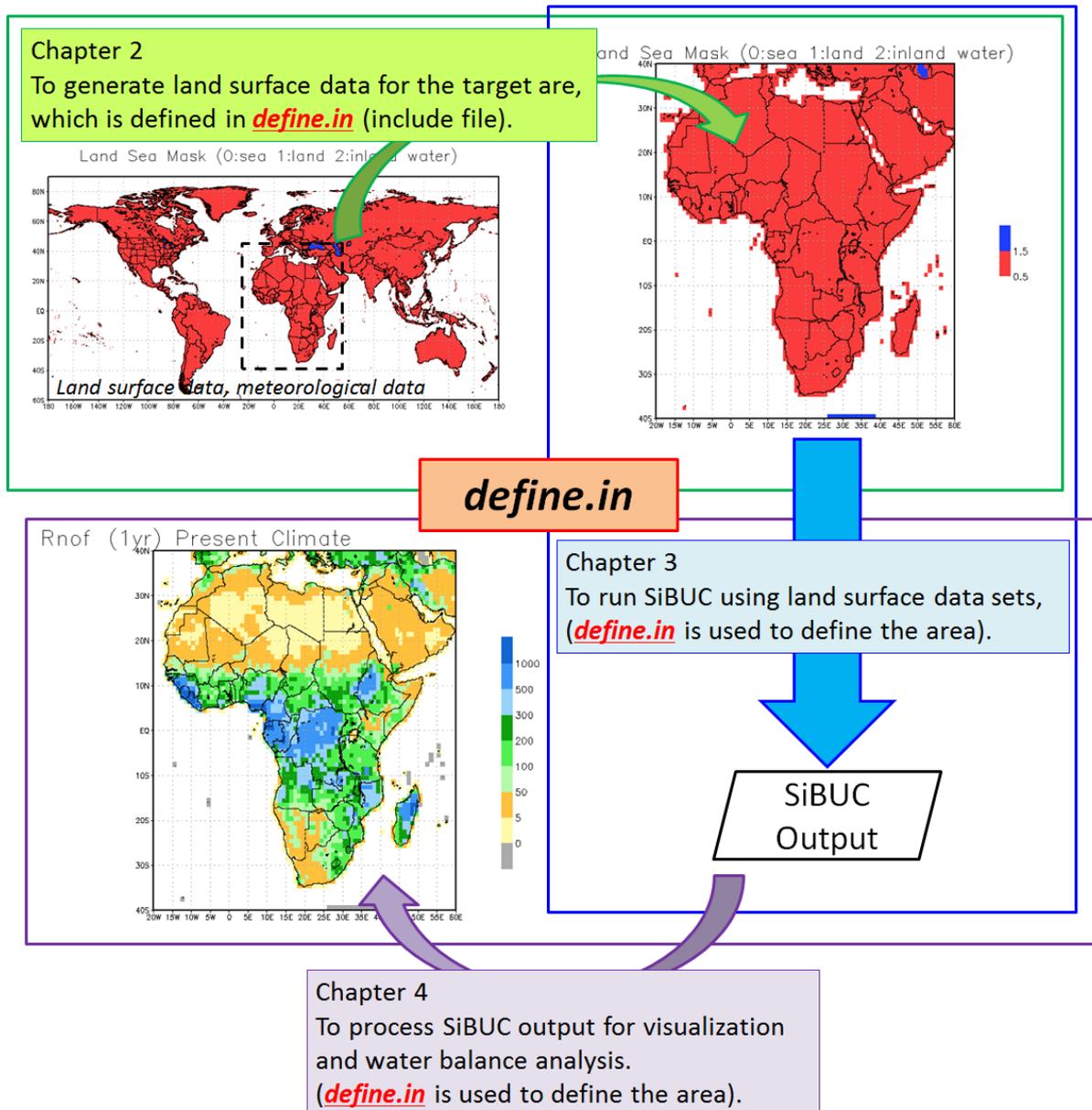


Fig. 3. The structure of this document. Chapter 2 describes the way to generate land surface data sets. Chapter 3 describes the way to run the SiBUC. Chapter 4 describes the way to process output data from SiBUC.

1.3 関連する研究と文献

SiBUCについての引用は、以下の様にして欲しい。
Tanaka K. 2004. Development of the New Land Surface Scheme SiBUC Commonly Applicable to Basin Water Management and Numerical Weather Prediction Model. Doctoral Dissertation, Graduate School of Engineering, Kyoto University: Kyoto; 289.

なお、本資料で解説するSiBUCの計算を実行するには、多数の入力データが必要である。データを利用して研究を行った際は、データの提供者・開発者への謝意も含めて一つ一つ丁寧に引用して欲しい。本資料中でも、引用すべき文献について明記する。

開発者らはこれまで、複数の陸面過程モデル相互

比較プロジェクト(MIPs: model intercomparison projects)に参加し、動作確認や改良・拡張を行ってきた。入力・検証データの揃ったMIPs適用地域で一定の動作確認を経ている。これまでに参加したMIPsについては、Table 1にまとめた。

加えて、SiBUCはこれまで、アラル海流域・日本・ナイル川等の流域を対象とした研究から全球を対象とした研究まで、様々な応用研究が計られてきた。それら既往研究の概要と文献については、Table 2にまとめた。

1.4 必要な計算機環境と知識

SiBUCの解説、及び、入力データの作成は、シェ

Table 3. The overall structure of directories to use SiBUC on a certain \$(path)/ directory. The structure in this table assumes to use SiBUC on the entire African Continent at spatial resolution of 1.0 degree. The users can change names of directories with blue color depending on the resolution, the target area, the version, and their preferences.

| Directories on \$(path)/ | Purpose | Chapter | |
|---|-----------------------------|---|---|
| Data/ | data/ | To connect link to global data sets | 2 |
| | Africa_1deg | To generate land surface and meteorological data sets | 2 |
| SiBUC_Africa1deg_v1.01/ | input/ | Input parameters (no need to change, basically) | - |
| | lib/ | Library programs codes of land surface processes | 3 |
| | restart/ | Initial files for restarting simulation | - |
| | src/ | Source programs of SiBUC | 3 |
| | output/ | Output files of SiBUC | 4 |

ルスクリプトとFortranソースコードより構成されている。そのため、SiBUCを利用する際には、以下の2つの条件が必要である。

[1] シェルスクリプト、及び、“make”コマンドを使える環境である事。UNIX, LiNux, MacOSが稼働する計算機環境を想定している。ただし、WINDOWS環境下での解析実績もあるため、WINDOW環境下での使用を望む利用者は、開発者らへ相談して頂きたい。

[2] Fortranコンパイラが使用可能であること。これまで、Intelのコンパイラ環境下で開発・解析されてきたため、Intelコンパイラ環境が理想的である。また、フリーソフトウェアであるgfortran環境下でも解析可能な様に、動作環境を確認中である。加えて、以下の環境・知識を有していることが望ましい。なお、これらの知識が無くとも解析を実行させることは可能であるため、実際に処理を行う知識・技術を習得していく事も可能である。

[1] SiBUC出力、及び、入力データを確認する為、フリーソフトウェアGrads (Grid Analysis and Display System)のスク립トを準備した。本資料中の地図ファイルは、全てGradsにより作成されている。ただし、Gradsによる作画はSiBUCを解析する上で必ず必要な訳ではない。

[2] 基本的に、入出力ファイルはバイナリで記述される。アスキーファイルではなく、バイナリファイルを用いる理由は、多量なデータを扱う為、データ容量を抑えるためである。

1.5 本資料の構成

本資料の構成はFig.3に示す通りである。入力データの作成・SiBUCのソースコード・outputの処理プログラムは、同じ領域定義ファイル(“define.in”)を読み込むことで、基本的にソースコードに手を入れる事無く解析可能である。つまり、領域定義ファイルを最初に決定することで、容易にSiBUCの解析・output

処理まで行うことが出来る。実際の作業で必要になるのは、最小限のインクルードファイルの修正(主に、“define.in”へのpath修正)とスク립トの実行のみである。また、元データには全球データを利用するため、世界のどの地域に於いても解析を実行することが出来る。これにより、データ処理の時間を除けば、実際の作業時間にして30分以内に、いずれの領域に於いてもSiBUCを用いて解析することが可能になった。勿論、ここで示す方法は基本的な解析方法である。モデルの修正や入力データを作成する際には、ソースコードの修正が必要になる。

第2章では、領域を決定した後に(“define.in”), 全球の地表面・気象強制力データから領域のデータを切り出すプロセスを説明する。

第3章では、切り出した陸面データを使用して、SiBUCによる解析を実行するプロセスを説明する。

第4章では、解析で出力されたoutputファイルの処理方法について説明する。

それぞれのプロセスではGradsを用いた作画方法についても説明する。Gradsでバイナリファイルを読み込むために必要なコントロールファイルについては、実行するソースコード中で自動作成されるため、ユーザーが自ら作成する必要はない。スク립トファイルについても基本的に準備してあるが、領域や作画範囲については対象毎に異なるため、それらを定義するスク립トを修正する必要がある(2.5節に詳しく述べる)。

1.6 全体のディレクトリ構造

本資料で解説するディレクトリの全体構造は、Table 3に示す通りである。以降、本資料では具体的に、新たにアフリカ全領域を対象にSiBUCを実行する事を想定して解説を進める。なお、本資料では以後で説明するプログラム群のうち、入力データの作成アルゴリズムをv1.1として、SiBUCの実行及びoutput処理のプログラム群をv1.01と想定して解説を

Table 4. The structure of directories to generate land surface data sets for SiBUC.

| Directories on \$(path)/Data/ | Operations | Process |
|-------------------------------|--|---------|
| data/ | To generate link for global data sets | 2.1 |
| Africa_1deg/ | To define the target region with editing “ define.in ” | 2.2 |
| include/ | | |
| lib/ | To compile library with “ make all ” | 2.3 |
| src/ | To generate the data sets with “ make all ” and “ paraset.sh ” | 2.4 |
| out_basic/ | Output directory | |
| FIGrads | To visualize output file on out_basic using Grads | 2.5 |
| forcing | To generate forcing data with “ script_forcing.csh ” after editing “ define_force.in ” | 2.6 |

進める。開発者らによるSiBUCの開発はまだ途上であり、今後もソースコードの改良・修正が予想される。大幅な改定があった場合は、極力その都度マニュアルを改訂していく予定である。

1.7 データ・プログラムの提供について

本資料を執筆している現在、SiBUCはオープンソースとはなっていない。しかし、SiBUCを用いた計算に興味がある場合は、まずは開発者らに連絡して頂きたい。使用目的に応じた適切な提供方法を個別に相談したいと考えている。

SiBUCの前処理で作成される地表面物理パラメータ・気象強制力データや、SiBUCのoutputファイルの提供を望む場合も著者らに連絡して頂きたい。これまでも、そういった形での研究協力は行ってきており、基本的に問題なくデータ提供できると考える。

以上、第1章が長くなったが、第2章以降では具体的な作業内容について説明する。

2. 地表面データの作成

第2章では、領域定義ファイル(“define.in”)を読み込むプログラム群による、地表面データの作成方法を説明する。第2章で説明するデータセットは、Table 4に示されるディレクトリ上のコマンド実行スクリプトにより作成される。以後、手順に従って実行方法を説明する。なお、本章のコピーデータ元には、京都大学防災研究所・水資源センターのデータサーバー・nas027(通称lake)上での作業を想定して書かれている事に留意願いたい。

2.1 ディレクトリの作成とリンク作成

SiBUCを用いたいディレクトリ上にDataディレクトリを作成し、最新の地表面データ自動作成ディレクトリをコピーする。具体的には、\$(path/)上に於いて、[Process 2.1]のコマンドを実行する(Table 5)。青字のディレクトリ名は、ユーザーが自由に設定できるが、領域・解像度情報を記載する事が望ましい。

\$(Dat_dir)/は入力データ作成のプログラム群を更新しているディレクトリである。DATEはアーカイブされた日時であり、最新の日時を選択すると良い。

Table 5. [Process 2.1] on \$(path)/

```
$ mkdir Data
$ cd Data
$ ln -fs $(Dat_dir)/data/ ./data/
$ cp -r $(Dat_dir)/XXMIN_LSPv1.1_DATE/
./Africa_1deg
```

2.2 領域定義ファイルの修正

領域は、\$(path)/Data/Africa_1deg/include/に格納されている、“define.in”で定義する。Emacs等のエディタで、“define.in”を対象に応じて修正する。[Process 2.2]中の赤字について、以下の順に修正する(Table 6)。

- [1] 対象領域によって、領域を定義する。
- [2] モデルの解像度を決定する。解像度(resl)を決定すれば、モデルの格子数(mx,my)は計算により算出できる。例えば、経度方向であれば、mxとreslの積が(xmax-xmin)に一致するようにmxを決定すれば良い。特に解像度について制約はないが、高解像度になるほど、SiBUCの解析時間が膨大になる。著者の考えとしては、モデルの総格子数は10000以下になるのが望ましい。これまでの研究では、全球スケールでは0.25~1.0°、大陸河川スケールでは0.05~0.2°程度でモデル計算が実行されてきた。
- [3] ファイル名と解像度を定義する。以下の陸面パラメータの作成ファイルやSiBUCのoutputファイルには、ここで定義したファイル名が用いられる。なお、cname, creslの文字数も修正することに留意されたい。

2.3 ライブラリのコンパイル

地表面パラメータ作成に用いるライブラリをコンパイルするため、\$(path)/Data/Africa_1deg/lib/上で[Process 2.3]のコマンドを実行する(Table 7)。

Table 6. [Process 2.2] To edit \$(path)/Data/Africa_1deg/include/define.in

```

=====
character cname*6,cresl*4
parameter ( cname = 'Africa' ) ! need to change (depending on target region)
parameter ( cresl = '1deg' ) ! need to change (depending on resolution)
=====

integer nx,ny,mx,my
parameter ( nx = 43200 )
parameter ( ny = 21600 )
parameter ( mx = 80 ) ! need to change (depending on project area & resolution)
parameter ( my = 80 ) ! need to change (depending on project area & resolution)
=====

real xmin,xmax,ymin,ymax,resl
parameter ( xmin = -20. ) ! need to change (depending on project area)
parameter ( xmax = 60. ) ! need to change (depending on project area)
parameter ( ymin = -40. ) ! need to change (depending on project area)
parameter ( ymax = 40. ) ! need to change (depending on project area)
parameter ( resl = 1. ) ! need to change (depending on resolution)
=====

```

③ To define the names

② To define the Resolution

① To define the target region

Table 7 [Process 2.3]

```

on $(path)/ Data/Africa_1deg/lib/
$ make clean
$ make all

```

それらの微調整をした後、[Process 2.5]のコマンドを実行することで、作成した地表面パラメータのGIFファイルを作成できる(Table 9).

Table 9 [Process 2.5] on \$(path)/

```

Data/Africa_1deg/FIGrads/
$ grads
$ yes
ga> drawall.gs

```

2.4 地表面物理データの作成

地表面パラメータ作成スクリプトを実行するため、\$(path)/Data/Africa_1deg/src/上で[Process 2.4]のコマンドを実行する(Table 8). 領域とマシン環境にもよるが、このプロセスには半日程度の計算時間を要する.

Table 8 [Process 2.4]

```

on $(path)/ Data/Africa_1deg/src/
$ make clean
$ make all
$ ./paraset.sh > log.paraset &
$ tail -f log.paraset

```

2.6 気象強制力データの作成

\$(path)/Data/Africa_1deg/forcing/上のスクリプト, “script_forcing.csh”を実行し, [Process 2.6-1]により気象強制力データを作成する(Table 10).

Table 10 [Process 2.6-1]

```

on $(path)/ Data/Africa_1deg/forcing/
$ ./script_forcing.csh > log.forcing &
$ tail -f log.forcing

```

2.5 Gradsを用いた地表面パラメータの作画

\$(path)/Data/Africa_1deg/FIGrads/上で, Gradsスクリプトを実行することで, 作成したデータを作成する. 全ての作画スクリプトは, “p_target.gs”, “p_project.gs”, “p_header.gs”をその内部で実行させる. “p_target.gs”は作画領域を定義する. “p_project.gs”は作画スタイルを定義する(shadedかgrfill, mapの高解像度化等). “p_header.gs”は, Grads上での作画範囲を定義する.

このスクリプトにより実行されるプログラムは, \$(path)/Data/Africa_1deg/forcing/define_force.inをインクルードファイルとして読み取り, 実行する.

[Process 2.6-2]にはこのインクルードファイルの内容を記載しているが, 重要な点は解析期間を決定することと, 利用する降水量データを選択することである(Table 11). 勿論, 複数の降水量データを作成してSiBUCにより解析することも出来る.

“script_forcing.csh”を実行する前に, [Process 2.4]

Table 11 [Process 2.6-2] To edit \$(path)/ Data/Africa_1deg/forcing/define_force.in

```

=====
integer isy,iey
parameter ( isy=1979,iey=1999 )
=====
! Precipitation Data ( 0:do not make, 1:make, (*) template )
! available from "1960" to "2006"
real opt_prec,opt_prec1,opt_prec2,opt_prec3,opt_prec4
parameter ( opt_prec1 = 1 ) ! (*) GPCCv6
parameter ( opt_prec2 = 1 ) ! (*) GPCCv6 & APHRODITEv1101
parameter ( opt_prec3 = 1 ) ! (*) GSMAP_MWR
parameter ( opt_prec4 = 1 ) ! (*) GPCP_v1.2
=====

```

の“paraset.sh”が完了されてなければならないことに留意されたい。気温や大気圧など、標高依存する気象強制力を内挿する際には、“paraset.sh”により作成される標高データを要する為である。

2.7 本章で用いたデータ

本章では、全球の陸面データから作成した対象領域の陸面パラメータを作成する手順を説明した。重要なのは、“\$(path)/Data/Africa_1deg/src/paraset.sh”で実行される、4つのプログラムである。それぞれのプログラムの実行内容と解析順序はTable 12に示される。また、本章で使用された地表面データについてはTable 13にまとめた。入力データの作成アルゴリズムv1.1では、Table 13にまとめたデータを用いているが、今後も世界で発信される地表面データの情報をキャッチアップしつつ、更新・改良を行っていく予定である。本資料の作成時に於いても、全球湖沼・湿地地図(Global lake and Wetland Datasets: GLWD; Lehner and Doll, 2004)のデータを入力データとして

取り組むべく、作業を行っている。

本章に用いた気象強制力データについて、降水量データについてはTable 14に、Hirabayashi et al. (2008)より用いたデータについてはTable 15に、JRA25より用いたデータについてはTable 16にまとめた。降水量データのうち、APHRODITEについては、データの得られないユーラシア大陸域以外ではGPCCの降水量を用いて降水量データを作成している。

2.8 本章で作成したデータ

本章で作成されたデータのうち、第3章で述べるSiBUCの解析に於いて用いられるデータについて説明を加える。

(1) 地表面パラメータ

作成された地表面パラメータのうち、Table 17に示されるデータがSiBUCの解析に用いられる。現在のSiBUCv1.01はTable 18に示されるように19種類の土地被覆を扱っている。その中で、灌漑農地は

Table 12. The purpose of programs processed in “./paraset.sh”

| \$(path)/Data/Africa_1deg/src | Purpose | Order |
|-------------------------------|--|-------|
| landmask.f | To generate land masking data (whole lands) using GLCC v2 | 1 |
| classmake.f | To generate class fraction (land use) data using GLCC v2 and MIRCA 2000 | 2 |
| soilmake.f | To generate soil physical and agricultural parameters using satellite NDVI , GTOPO30 and ECOCLIMAP | 3 |
| addmake.f | To generate country masking data according to FAO's definition | 4 |

Table 13. The global land surface data sets processed in “./paraset.sh”

| Name | Data | Spatial Resolution | Provided by |
|-----------|---------------------------------------|--------------------|-------------------------|
| GLCC v2 | Global land cover | 30sec ≙ 1km | U. S. Geological Survey |
| GTOPO30 | Global elevation | 30sec ≙ 1km | U. S. Geological Survey |
| MIRCA2000 | Global irrigation and crop map | 5min ≙ 10km | Portmann et al. (2010) |
| NDVI | 10 day composite NDVI | 1km | Spot-Vegetation |
| ECOCLIMAP | Global soil and vegetation parameters | 30sec ≙ 1km | Meteo-France |

Table 14. The precipitation data sets processed in “./script_forcing.csh”

| Name | Period | Area | Time resl. | Spatial resl. | Produced by | Reference |
|------------------|--------|---------|------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| GPCC_v6 | 1901- | Global | monthly | 0.5 deg. | Observation | Rudolf et al. (2010) |
| GPCP_1DD_v1.2 | 1997- | Global | daily | 1.0 deg. | Obs. and satellite | Huffman et al. (2013) |
| APHRODITE v1101 | 1951- | Eurasia | daily | 0.25 deg. | Observation | Yatagai et al. (2012) |
| GSMaP_MWR_v4.8.4 | 1998- | Global | hourly | 0.25 deg. | Satelite | Ushio et al. (2009) |

Table 15. The meteorological data sets provided by Hirabayashi et al. (2008) processed in “./script_forcing.csh”

| Meteorological forcing | Unit | Time resl. | Area | Spatial resl. | Period |
|------------------------|------------------|------------|--------|---------------|--------|
| Short wave radiation | W/m ² | daily | Global | 0.5 deg. | 1951- |
| Long wave radiation | W/m ² | 3 hourly | | | |
| Specific humidity | kg/kg | daily | | | |
| Surface temperature | K | 3 hourly | | | |

Table 16. The meteorological data sets provided by JRA25 (Onogi et al., 2007) processed in “./script_forcing.csh”

| Meteorological forcing | Unit | Time resl. | Area | Spatial resl. | Period |
|------------------------|-------|------------|--------|---------------|--------|
| Atmospheric pressure | Pa | 6 hourly | Global | 1.25 deg. | 1979- |
| Wind speed | m/s | | | | |
| Specific humidity | kg/kg | | | | |
| Surface temperature | K | | | | |

Table 17. The generated data sets which are used in simulation in SiBUC. “***” is determined by cname and cresl which are defined in “define.in”.

| \$(path)/Data/Africa_1deg/out_basic/ | Data | Dimension |
|--------------------------------------|---|-------------|
| AREA_**.bin | Area of each grid (km ²) | mx·my |
| ClassFrac_**.MIRCA-GLCC.bin | Class fraction data for 19 land cover type | mx·my·19 |
| cropstage_**.bin | Crop stage data for irrigated cropland | mx·my·36 |
| Mask_**.bin | Land masking data | mx·my |
| Nc_**.bin | Vegetation fraction | mx·my·15*36 |
| Soil_**.bin | Soil physical parameters | mx·my·11 |
| SPOTLAI_**.bin | LAI (leaf area index) generated by NDVI (m ² /m ²) | mx·my·15·36 |
| Vc_**.bin | Greenness fraction | mx·my·15·36 |

MIRCA2000のデータを用いて7作物に分類されて扱われている。一方、LAI(“SPOTLAI_**.bin”)や、vegetation fraction (“Nc_**.bin”), greenness fraction (“Vc_**.bin”)の植生パラメータは、作物種を問わず灌漑農地として一種類作成されるのみである。植生パラメータは、ECOCLIMAPを用いて1kmデータから作成するものの、現在1km解像度で作物分類情報を提供するデータが存在しない。そのため、SiBUCの解析では、全ての灌漑作物に同じ植生パラメータが与えられている。なお、**は“define.in”で定義した、領域名(cname)と解像度(cresl)で決定される。

SiBUCで用いられる土壌物理パラメータはTable 19に示される。標高・勾配のデータはGTOPO30より、それ以外のデータについてはECOCLIMAPから作成されている。

灌漑農地の農事暦データ(“cropstage_**.bin”)は、衛

星NDVIを用いた時系列解析により作成される。詳しい作成方法については、小槻ら(2012)に詳しく述べられている。

作成された地表面パラメータの作画ファイルの例をFig.4に示す。Fig.4a-1, 4a-2はそれぞれ、grasslandと総灌漑農地被覆率の全球分布を示している。Fig.4b-1, 4b-2はそれぞれ、土壌深さと間隙率の全球分布を示している。Fig.4c-1, 4c-2はそれぞれ、1月1日と7月1日における灌漑農地の作物生育ステージの全球分布を示している。Fig.4では、作成されたデータを全球分布情報として紹介したが、“\$(path)/Data/FIGrads/draw_all.gs”を実行した際には、“\$(path)/Data/include/define.in”で定義された領域の作画ファイルが取得できる。

Table 18. The generated class fraction data used in SiBUC simulation. 19 land cover type is included, currently.

| | Data |
|------|---------------------------------|
| 1. | Urban Canopy |
| 2. | Water Body |
| 3. | Broadleaf-evergreen trees |
| 4. | Broadleaf-deciduous trees |
| 5. | Broadleaf and needle leaf trees |
| 6. | Needleleaf-coniferous trees |
| 7. | Needleleaf-deciduous trees |
| 8. | Short vegetation/c4 grassland |
| 9. | Broadleaf shrubs with bare soil |
| 10. | Dwarf trees and shrubs |
| 11. | Farmland (non-irrigated) |
| 12. | Paddy field (non-irrigation) |
| 13. | Paddy field (irrigated) |
| 14. | Spring Wheat (irrigated) |
| 15. | Winter Wheat (irrigated) |
| 16. | Corn (irrigated) |
| 17. | Soybean (irrigated) |
| 18. | Cotton (irrigated) |
| 19. | Other crops (irrigated) |
| (20) | To be added |

(2) 気象強制力データ

気象強制力は、SiBUCの解析に必要となる7要素(降水・気温・短波放射・長波放射・比湿・大気圧・風速)が作成される。その中でも、陸面過程解析に大きな影響を与える降水データについて説明を加える。

降水データは、Table 14に示されたように、GPCC_v6, GPCP_1DD_v1.2, GSMaP_MWR_v4.8.4, APHRODITE v1101の4プロダクトが利用可能である。GPCCとAPHRODITEは地上観測降水量から空間内挿により作成されたプロダクトである。GSMaPは、衛星観測情報から作成されたプロダクトである。GPCPは衛星観測降水量を地上観測降水量で補正したプロダクトである。各降水プロダクトの年平均降水量の全球分布をFig. 5に示す。最も大きな違いは、衛星観測情報を用いているGSMaPとGPCPは海上でもデータを得られる点である。陸上に於いては、大気場が収束する、降水量の多い地域では、各降水プロダクトが同じ傾向を示している。しかし、Fig. 6に示すように各地域で見た時、各降水量プロダクトの違いが明らかになる。例えば、GPCCをAPHRODITEは共に観測降水量を基にして作成されたプロダクトであるが、東南アジア域の多い所では250mm/year以上の違いが出ている(Fig. 6a-1)。各プロダクトの良し悪しを議論する事は難しいが、ユーザーとして各降水量

プロダクトが不確実性を有している事を理解する必要がある。

降水量プロダクトの不確実性が流出解析に与える影響を論じたFekete et al. (2004)は、以下の様に指摘している。

—降水量がポテンシャル蒸発散量を上回る湿潤域では、降水量の差はほぼ等しく流出量の差として反映される。流出量は降水量と比較してその量自体が少ないため、相対的により顕著な差となる。

—流出プロセスが強い非線形性を持つ半乾燥域では、降水量の差は、流出する量としては湿潤域に比して小さい値として反映される。しかし、流出プロセスの非線形性により、相対的には湿潤域よりも大きい流出の差が発生する。

—水収支解析によってほとんど流出が発生しない乾燥域では、降水量の差は流出量の差としては反映されない。多少の降水量の差は、単に蒸発散量の増加・減少として吸収される。

Fekete et al. (2004)の指摘する様に、湿潤域に位置する東南アジアでは、降水量の違いは蒸発散量に於きな影響を与えず(Fig. 6b-1, 6b-2)、流出量の違いとして反映されることが分かる(Fig. 6c-1, 6c-2)。そのため、降水量としての差が小さい場合でも(例えば10%程度)、流出量としてはより大きな差として解析されることに注意する必要がある。この傾向は、流出率の小さな流域ほど顕著になる。

3. SiBUCによる解析手順

本章では、第2章で作成した地表面データを用いて、SiBUCにより解析する手順を説明する。なお、3.1節では京都大学防災研究所・水資源センターのデータサーバー、nas027を想定したコマンドとなる。外部環境のユーザーに対しては、第2章の全プロセス、及び[process 3.1]を行った後の環境が提供されると想定されるので、[process 3.2]以後を読み進めて頂いて問題ない。

3.1 最新のSiBUCディレクトリのコピー

最新のSiBUCバージョンを、[Process 3.1]のコマンドを実行する事でコピーする(Table 20)。DATEはSiBUCのディレクトリがアーカイブされた日付を意味する。青字のディレクトリ名は、ユーザーが自由に設定できるが、領域・解像度・SiBUCのバージョン情報を記載する事が望ましい。

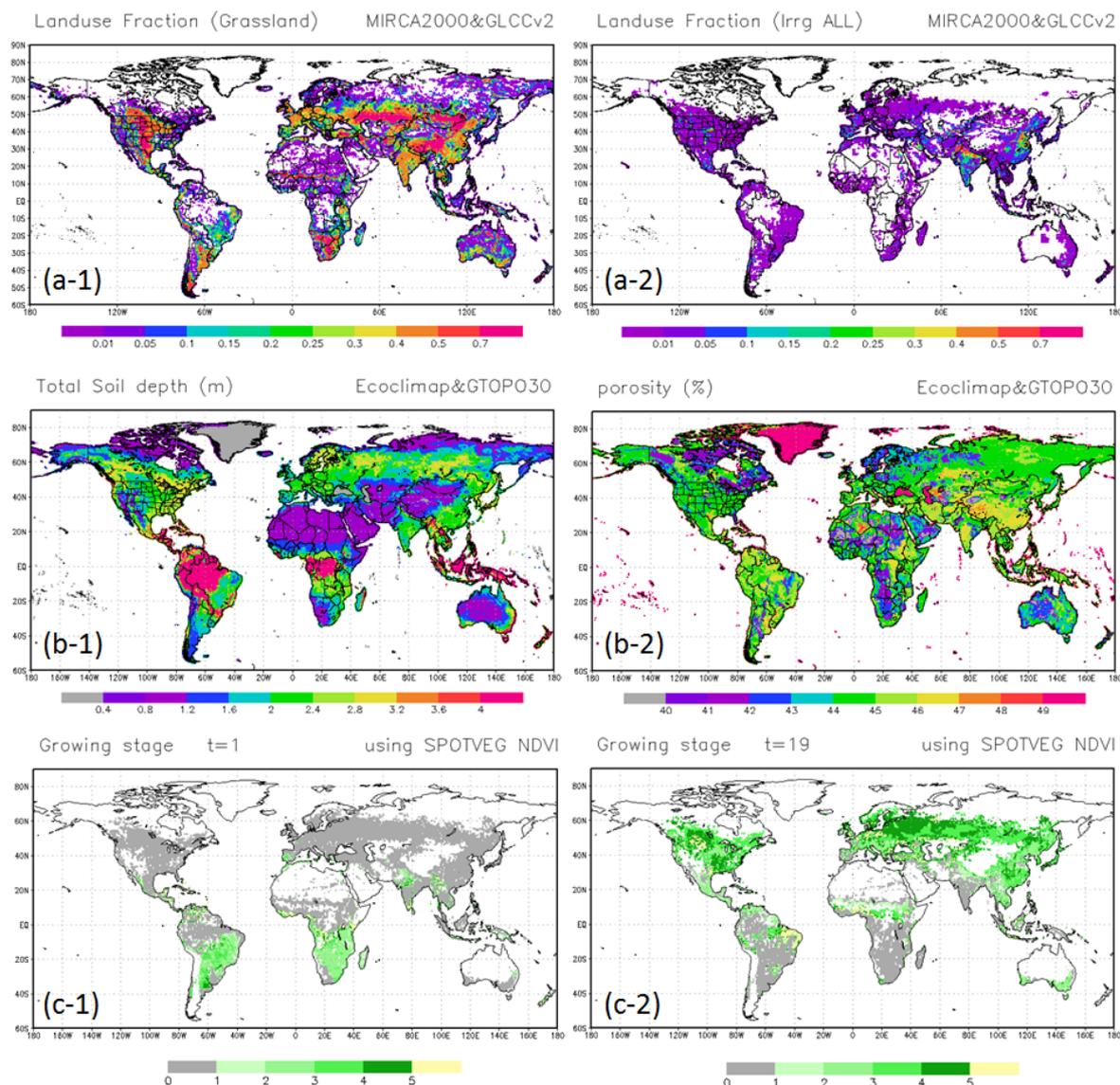


Fig.4. Several example figures generated by Grads. Figures (a-1) and (a-2) show class fraction data for grassland and all irrigated cropland, respectively. Figures (b-1) and (b-2) show total soil depth and porosity, respectively. Figures (c-1) and (c-1) show growing stages of irrigated cropland on January 1 and July 1, respectively.

Table 19. The generated soil physical data sets used in SiBUC simulation.

| | Data |
|-----|-------------------------------|
| 1. | root depth (m) |
| 2. | soil depth (m) |
| 3. | clay fraction of soil texture |
| 4. | sand fraction of soil texture |
| 5. | porosity |
| 6. | wilting point |
| 7. | field capacity |
| 8. | B power of Clapp Hornberger |
| 9. | soil type |
| 10. | Topography (m) |
| 11. | Slope (m/m) |

Table 20. **[Process 3.1]** on $\$(path)/$
 $\$ cp -r \$(SiBUC_dir)//XXX_SiBUCv1.01_DATE$
 $./SiBUC_Africa1deg_v1.01$

3.2 ライブラリのコンパイル

SiBUCのライブラリをコンパイルするため、 $\$(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/lib/$ 上のディレクトリで **[Process 3.2]**のコマンドを実行する(Table 21).

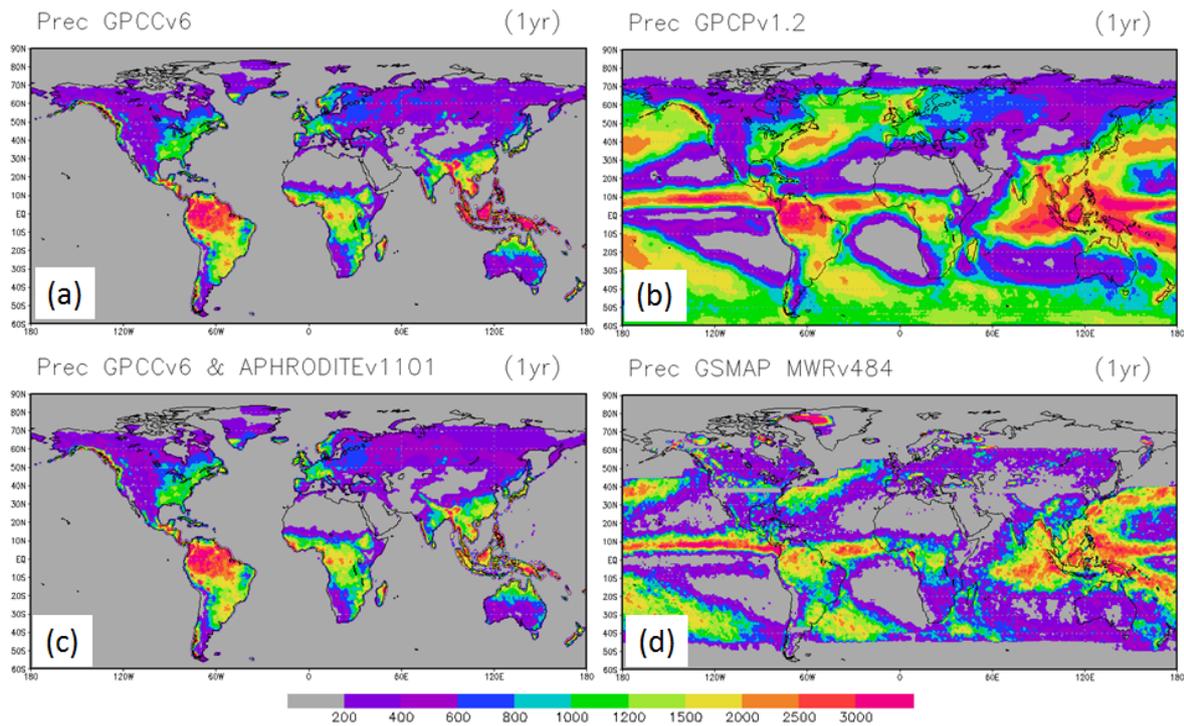


Fig.5. Mean annual precipitation of (a) GPCP, (b) GPCP, (c) APHRODITE, and (e) GSMaP from 1998 to 2004.

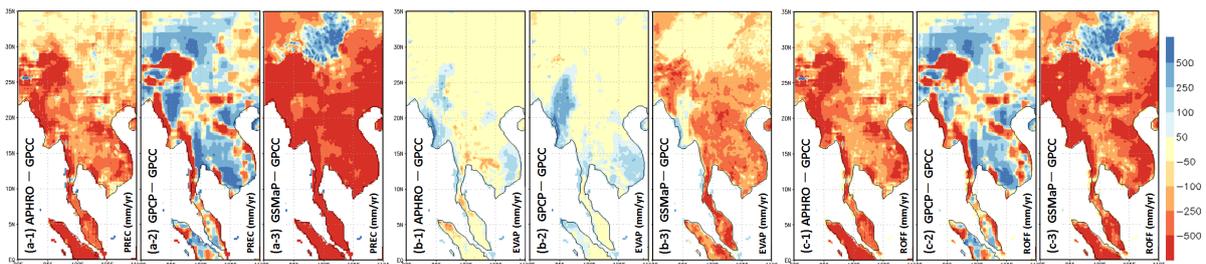


Fig 6. Difference in mean annual precipitation (a-1, a-2, a-3), simulated evapotranspiration (b-1, b-2, b-3), and simulated runoff (c-1, c-2, c-3) from 1998 to 2006. Units of every figure are $\text{mm} \cdot \text{yr}^{-1}$. The results using APHRODITE minus that of GPCP are shown in a-1, b1, and c-1. The results using GPCP minus that of GPCP are shown in a-2, b-2, and c-2. The results using GSMaP minus that of GPCP are shown in a-3, b-3, and c-3. Cold color means precipitation, evapotranspiration, and runoff using GPCP are higher than other precipitation products.

```

Table 21. [Process 3.2]
on $(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/
$ cd ./lib/sibuc/
$ make clean
$ make all
$ cd ../ssl2/
$ make clean
$ make all

```

3.3 解析設定・オプションの設定

解析設定・オプションは，“define_input.in”，“OPTION_OUTPUT.in”，“OPTION_SIMULATE.in”の3つのファイルによって定義される。これらのファイ

ルは，“\$(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/src/”にある。解析・オプション設定のうち、重要な点に説明を加える。

地表面データ作成に使用した“define.in”は、ここでも共有され使用される。“define.in”へのpathや、入力とする気象強制力は、“OPTION_SIMULATE.in”で定義される(Table 22)。開発者らの一般的な解析では、気温・長波放射・短波放射・比湿にはHirabayashi et al.(2008)データを使用し、大気圧・風速データにはJRA25を用いている。降水量データについては、どのプロダクトが良いかといった判断が難しいため、使用者の側で複数のデータを用いて実験することが好ましいと考えている。

解析の出力要素は，“OPTION_OUTPUT.in”で定義

される。しかし、SiBUCを単独で利用する限りにおいては、このファイルを修正する必要はない。このオプションファイルは、将来的に河川・貯水池・作物成長モデルとオンライン結合することを想定し、その際の膨大なアウトプットを管理するために準備している。

解析期間・スピナップ・結合モデルのオプションは、“OPTION_SIMUKATE.in”で定義される(Table 23)。スピナップ期間は一般的に3年以上が望ましいが、乾燥域ではそれ以上のスピナップが必要との指摘もある。SiBUCは各年度の最終日・最終ステップでRESTART計算の為の状態量ファイルを出力する。スピナップ期間を0とした場合は、解析初年の状態量から解析を再開することが出来る。結合モデルオプションについては、今後のオンライン結合によって選択肢が増える予定である。現在は、灌漑

モデル結合の有無のみ指示できる。

3.4 SiBUC計算の実行

解析設定・オプションを修正した上で、[Process 3.5]のコマンドを実行してコンパイルし、計算を実行する (Table 24)。SiBUCの解析結果は、\$(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/output/に出力される。

Table 24. [Process 3.5]

```
on $(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/src/
$ make clean
$ make all
$ ./sibuc.exe > log.simtest &
$ tail -f log.simtest
```

Table 22 [Process 3.3] To edit on \$(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/src/define_input.in

```
!=====
!--> definition of the input directory                                Path to the “define.in”
character dir*28
parameter ( dir = '../Data/TEST_Africa_1deg/' )
include '../Data/TEST_Africa_1deg/include/define.in'
!=====
!--> definition of the forcing file and time step                    Definition of meteorological forcing
character fnum1*14, fnum2*11, fnum3*11, fnum4*11, fnum5*11
character fnum6*13, fnum7*13
integer instp1,instp2,instp3,instp4,instp5,instp6,instp7
integer irecf(7)
parameter ( instp1 = 1, fnum1 = 'Prec1hr_GPCCV6' ) ! Precipitation
parameter ( instp2 = 3, fnum2 = 'tair3hr_H08' ) ! Temperature
parameter ( instp3 = 24, fnum3 = 'ssrd1dy_H08' ) ! Short Wave Radiation
parameter ( instp4 = 3, fnum4 = 'slrd3hr_H08' ) ! Long wave Radiation
parameter ( instp5 = 24, fnum5 = 'qair1dy_H08' ) ! specific humidity
parameter ( instp6 = 6, fnum6 = 'wind6hr_JRA25' ) ! Wind speed
parameter ( instp7 = 6, fnum7 = 'pssf6hr_JRA25' ) ! atmospheric pressure
!=====
```

Table 23 [Process 3.4] To edit on \$(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/src/OPTION_SIMULATE.in

```
!===== OPTIONS SIMULATION =====
!--> simulation perio
integer isy,iey,nspin
double precision dtx
parameter ( isy = 1979, iey = 1999 ) ! from isy to iey
parameter ( nspin = 3 ) ! spinup X years, and 0 for restart
parameter ( dtx = 3600. ) ! calculation time step of LSP (default is 1 hour )
!--> model setup
integer opt_irrg ! default is 1
parameter ( opt_irrg = 1 ) ! Irrigation 0: not included, 1:included
```

4. 計算結果の処理

本章では、第3章の解析により出力されたファイルの代表的な処理方法を説明する。

4.1 気候値解析と作画

SiBUCにより解析された、複数年の日アウトプットは、[Process 4.1]のコマンドを実行することで解析期間の気候値として月毎に算出される(Table 25)。気候値を算出する期間は、“monanal.f”のヘッダー部分で定義されている。

```
Table 25. [Process 4.1]
on $(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/output/
$ ifort monanal.f -o monanal
$ ./monanal
```

算出した気候値を作画する為、Gradsのスク립トを準備している。[Process 4.2]のコマンドを実行する

事で、SiBUCの出力ファイルを作画できる(Table 26)。コントロールファイルについては、“monanal.f”中で自動作成されるため、ユーザー自身で準備する必要はない。

```
Table 26. [Process 4.2]
on $(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/output/
$ cd ./clim/
$ grads
$ yes
ga> sibus_project.gs
```

“sibus_project.gs”がSiBUC解析気候値を作画するスク립トとなる。なお、[Process 2.5]と同様に、“p_target.gs”、“p_project.gs”、“p_header.gs”を作画領域に合わせて修正する必要がある。また、提供段階のデフォルトでは、“sibus_project.gs”は年平均・積算値のみを作画するように設定されている。“sibus_project.gs”中の、月のループを1月から12月に

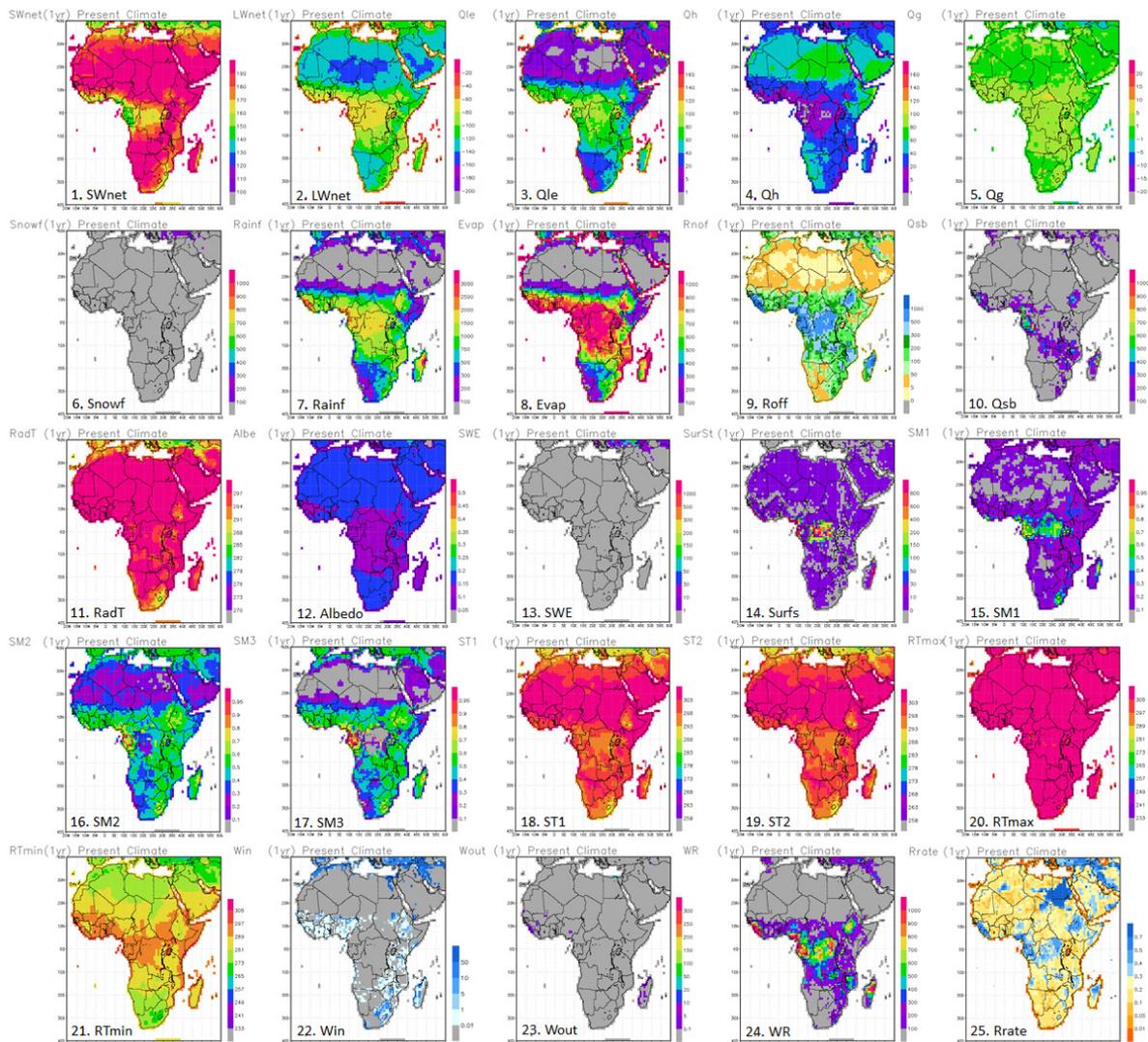


Fig.7 Sample figures of twenty-five variables simulated by SiBUC over the entire African Continent.

Table 27. Twenty-five visualized variables with “project_sibuc.gs”

| | Name | Variables | Unit |
|-----|-------|--|-------------------|
| 1. | Swnet | Net short-wave radiation | W/m ² |
| 2. | Lwnet | Net long wave radiation | W/m ² |
| 3. | Qle | Latent heat flux | W/m ² |
| 4. | Qh | Sensible heat flux | W/m ² |
| 5. | Qg | Ground heat flux | W/m ² |
| 6. | Snowf | Snowfall | mm/m ² |
| 7. | Rainf | Rainfall | mm/m ² |
| 8. | Evap | Evapotranspiration | mm/m ² |
| 9. | Roff | Total runoff (= surface runoff + base runoff) | mm/m ² |
| 10. | Qsb | Base runoff | mm/m ² |
| 11. | RadT | Radiative temperature | K |
| 12. | Albe | Albedo | - |
| 13. | SWE | Snow water equivalent | mm/m ² |
| 14. | Surfs | Surface storage | mm/m ² |
| 15. | SM1 | Soil moisture of the 1st layer | - |
| 16. | SM2 | Soil moisture of the 2nd layer | - |
| 17. | SM3 | Soil moisture of the 3rd layer | - |
| 18. | ST1 | Soil temperature of the 1st layer | K |
| 19. | ST2 | Soil temperature of the 2nd layer | K |
| 20. | RTmax | Maximum radiative temperature | K |
| 21. | RTmin | Minimum radiative temperature | K |
| 22. | Win | Irrigation water requirement (≠ withdrawn water) | mm/m ² |
| 23. | Wout | Drained water from irrigated cropland | mm/m ² |
| 24. | WR | Water resources = Rainfall + Snowfall – evapotranspiration | mm/m ² |
| 25. | Rrate | Runoff rate = Total runoff / (Rainfall + Snowfall) | - |

することで、各月ごとの変数も作画することが出来る。このスクリプトにより作画される変数は、Table 27にまとめられる。1-23番の変数は、SiBUCから出力された変数である。24、25番目の変数（WR、Rrate）はSiBUCの出力値から“sibuc_project.gs”中で計算したものである。なお、降水量・蒸発散量等の単位は、SiBUCはkg/m²/sで出力しているが、スクリプト中で86400を乗じてkg/m² (mm/m²)として作画している。アフリカ大陸全域に於いて“sibuc_project.gs”で作画した25変数をFig. 7に示す。Fig. 7に示される作画ファイルは、デフォルト設定で作画したファイルであり、“sibuc_project.gs”中のclevs、cclos等の範囲・値を変更することで、色合いや作画内のレジェンドについて変更することが可能である。

4.2 水収支解析

SiBUCの出力ファイルからの水収支解析の方法について説明する。本節での水収支解析は、或る領域の水収支を計算する(Fig.8)。[Process 4.3]のコマンドを実行する事で、SiBUCの出力ファイルからのミス

収支解析を実行できる(Table 28)。

Table 28. [Process 4.3]

```
on $(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/output/
$ cd ./wbcheck/
$ ./both_ym.csh
```

このスクリプトにより、年毎、及び、月毎の水収支解析が実行できる。計算結果は、\$(path)/SiBUC_Africa1deg_v1.01/output/wbcheck/gnu/に4つのアスキーファイルとして出力される。“wb**_annual.txt”と“wbAfrica1deg_month.txt”はGt単位で、“mm_wb**_annual.txt”, “mm_wbAfrica1deg_month.txt”はmm単位で出力される。ここで、**は“define.in”で定義した、領域名(cname)と解像度(cresl)で決定される。出力ファイルには、年情報の後（月出力のファイルには、年・月・1900年からの積算月情報の後）に、以下の情報が記録されている。

- [1] WB: 水収支
- [2] Prec: 降水量
- [3] Evap: 蒸発散量

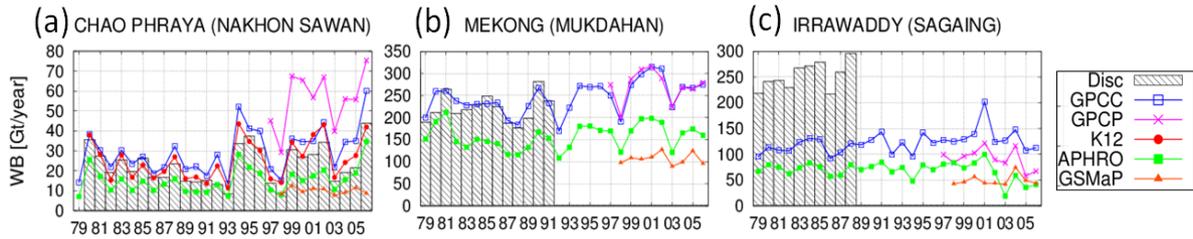


Fig.9 Annual runoff from 1979 to 2006 in the upper basin stations at (a) Nakhon Sawan in the Chao Phraya River, (b) Mukdahan in the Mekong River and (c) Sagaing in the Irrawaddy River. Black bars, blue lines, purple lines, red lines, green lines, and orange lines represent observed river discharge, simulated runoff using GPCC, GPCP, observed precipitation (K12), APHRODITE, and GSMaP_MWR, respectively.

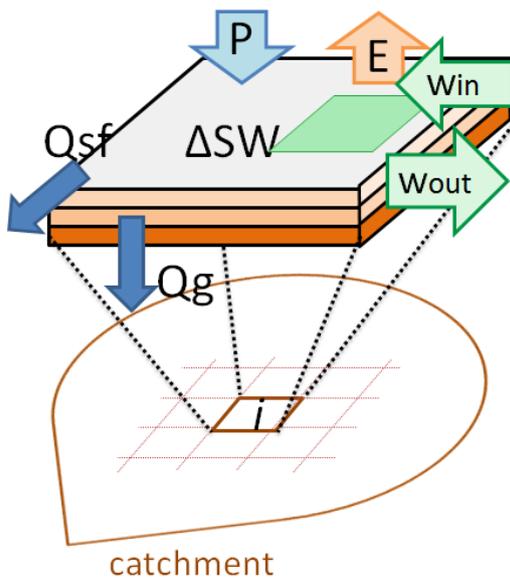


Fig.8 Schematic image of water balance analysis over certain catchments.

[4] *Roff*: 流出量

[5] *TWS*: 地表面貯水量 (total water storage)

[6] ΔTWS : 地表面貯水量変化

単位はいずれも、領域積算値(Gt), 若しくは、領域平均値(mm)である。なお、各メッシュの*Roff*及び*WB*は以下の式で計算される。

$$Roff_i = Qs_i + Qsb_i \quad (1)$$

$$WB_i = Prec_i + Win_i - Evap_i - Wout_i - \Delta TWS_i \quad (2)$$

ここで、各変数の意味はTable 27と同様である。地表面貯水量(*TWS*)は、土壌水分量や地表・植生遮断量、湿地・水田などの地表滞水量の総和である。

積算・平均する領域には、デフォルトで[Process 2.4]で作成された、解析領域を使用している。ユーザー自身で対象とする流量観測点の集水域マスクを作成すれば、[Process 4.3]で処理されるプログラムの読み込みマスクデータと入れ替えることで、*Roff*は観測

流量と比較することが出来る。例えば、Fig.9は東南アジアの3河川で、異なる降水量プロダクトを用いて解析された流出量と、観測流量を比較したものである。本節で説明した水収支解析の最も一般的な応用は、Fig.9の様に、SiBUCで計算された流出量を観測河川流量と比較することである。

5. 結語

本資料では、SiBUC Manual利用編ver1.0として、SiBUCを利用する為の方法について解説した。計算に要する地表面パラメータや気象強制力を全球陸面データから作成する手順、入力データを用いたSiBUCの解析手順、SiBUC出力の代表的な処理方法を説明した。

本資料で説明した内容は、多くのプログラム群とそれを実行するスクリプトにより実行される。プログラム群を全て読み込み、理解する必要は無いが、本資料から大まかな流れを理解して頂ければ幸いである。本資料が、今後新たにSiBUCを利用し始めるユーザーの助けとなり、彼らの研究成果がいつの日か社会に還元されることを祈念しつつ、本資料の結語とする。

謝 辞

SiBUCは、これまでの多くの先輩諸兄の改良・修正・知見により現在に至っている。これまで開発に関わってこられた全ての方々に、深く感謝する。

参考文献

- 安倍雅宏・田中賢治・小尻利治・浜口俊雄(2012): ナイル川流域における多国間水資源開発コンフリクトに関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第55号 B, pp.579-591.
- 浅野倫矢(2013): 大規模貯水池操作モデルによるナ

- イル川流域の流出再現性の向上, 京都大学工学部地球工学科 卒業論文.
- 藤井嵩大・田中賢治・相馬一義・小尻利治(2011): 都市気象を表現する力学的ダウンスケーリングに関する研究, 水工学論文集, 第55巻, pp.355-360.
- 小槻峻司・田中賢治(2013a): 陸面過程モデルと大気水収支法による灌漑農地からの水蒸気供給量推定. 土木学会論文集B1, Vol.69, pp.1801-1806.
- 小槻峻司・田中賢治・小尻利治(2013b): 気候変動が日本の水資源に与える影響推計 (I) -日本全域水源モデルの開発-, 水文・水資源学会誌, Vol.26, pp.133-142.
- 小槻峻司・田中賢治・小尻利治(2013c): 気候変動が日本の水資源に与える影響推計 (II) -水需給・米生産変化とその適応策-, 水文・水資源学会誌, Vol.26, pp.143-152.
- 小槻峻司・田中賢治・小尻利治(2013d): 多様な作物分布を考慮した全球農業水需要量推定, 環境科学会誌, Vol.26-2, pp.158-166.
- 小槻峻司・田中賢治・小尻利治・浜口俊雄(2012): 衛星データから作成した農事暦を活用した全球陸域水循環解析, 水文・水資源学会誌, Vol.25, pp.373-388.
- 小槻峻司・田中賢治・小尻利治・浜口俊雄(2011): 灌漑を考慮した陸域水循環モデルの構築, 水工学論文集, 第55巻, pp.553-558.
- 甲山治・田中賢治・池淵周一(2004): 中国淮河流域における農業形態の推定と陸面過程モデルへの適用, 土木学会水工学論文集, 第48巻, pp.211-216.
- 相馬一義・田中賢治・池淵周一(2006): 現業気象データと陸面過程モデルによる日本の地表面状態量の推定, 京都大学防災研究所年報, 第49号 B, pp.617-624.
- 相馬一義・田中賢治・中北英一・池淵周一(2004): 非静力数値気象モデルへの詳細な陸面過程モデルの導入, 土木学会水工学論文集, 第48巻, pp.127-132.
- 相馬一義・田中賢治・末次忠司・坪木和久・篠田太郎・榎原篤志・長谷川晃一・茂木耕作・中北英一(2013): 現実的な地表面状態量初期値が2008年に東京都で発生した局地的大雨へ与える影響, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.69, I_343-I_348.
- 田中賢治・石岡賢治・中北英一・池淵周一(2001a): 水田、湖面における熱収支の季節変化-琵琶湖プロジェクトより-, 京都大学防災研究所年報, 第44号B-2, pp.427-443.
- 田中賢治・中村忠則・椎葉充晴・池淵周一(2001b): 地表面温度情報とKalman Filterを用いた土壌水分データ同化, 土木学会水工学論文集, 第45巻, pp.271-276.
- 田中賢治・中村忠則・椎葉充晴・池淵周一(2000): 陸面過程モデルにおける土壌水分量の役割, 土木学会水工学論文集, 第44巻, pp.157-162.
- 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.
- 峠嘉哉・田中賢治・小尻利治・浜口俊雄(2011): 灌漑地の拡大の影響を考慮したアラル海流域における水・熱収支の経年変化の再現, 土木学会水工学論文集, 第55巻, pp.391-396.
- 峠嘉哉・田中賢治・小尻利治・浜口俊雄(2013): 集水域の灌漑地拡大の影響を考慮した水・熱収支解析によるアラル海の経年的縮小の再現, 環境科学会誌, Vol.26-2, pp.180-190.
- 峠嘉哉・田中賢治・中北英一・小尻利治(2012): 陸面解析による灌漑取水とアラル海の消長に関する応答分析～アラル海流域の持続可能性向上へ向けて～, 土木学会論文集G(環境), Vol.68-5, pp.1147-1152.
- 濱邊良・田中賢治・池淵周一(2003): 夏季チベット高原における陸面過程モデルSiBUCの性能評価, 水文・水資源学会2003年研究発表会要旨集, pp.68-69.
- 萬和明・キムスンミン・立川康人・椎葉充晴・松宮謙治(2011): データ同化を用いた陸面過程モデルにおける土壌パラメータ推定方法, 2011年土壌水分ワークショップ論文集, pp.4.1-4.4.
- 萬和明・藤園順哉・立川康人・椎葉充晴(2010): 地表面水文過程に基づいた作物生長モデルの構築, 京都大学防災研究所年報, 第53号B, pp.507-513.
- 萬和明・田中賢治・池淵周一(2006): 全球灌漑要求水量と降水量の相関分析, 水工学論文集第50巻, pp.535-540.
- 萬和明・田中賢治・中北英一(2009): 水収支に基づく土壌水分推定値の精度評価, 水工学論文集第53巻, pp.403-40.
- Boone A. and Coauthors (2004): The Rhone-aggregation land surface scheme intercomparison project: an overview, *Journal of climate*, Vol.17-1, pp.187-208.
- Fekete B. M. and Vorosmarty C. J. (2004): Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates, *Journal of Climate*, Vol.17, pp.294-304.
- Hirabayashi Y., Kanae S., Motoya K., Masuda K. and Doll P. (2008): A 59-year (1948-2006) global near-surface meteorological data set for land surface models, *Hydrological Research Letters*, Vol.2, pp.36-40.
- Huffman G. J. and Bolvin D. T. (2013): Version 1.2 GPCP One-Degree Daily Precipitation Data Set Documentation. (<http://precip.gsfc.nasa.gov>, Last access Mar 20, 2013)
- Kotsuki A. and Kenji T. (2013a): Comparative study of

- precipitation products through a hydrological land surface analysis in Southeast Asian basins, Thailand, *Hydrological Research Letters*. (in revision)
- Kotsuki A. and Kenji T. (2013b): Estimation of Climate Change Impact on Japanese Rice Yield and Water Resources, *Proceedings of 2013 IAHR World Congress*. (in press)
- Kotsuki A. and Kenji T. (2013c): Impacts of Mid-Rainy Season Rainfall on Runoff into the Chao Phraya River, Thailand, *Journal of Disaster Research*, Vol:8-3. (in press)
- Lehner B. and Doll P. (2004): Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands, *Journal of Hydrology*, Vol.296, pp.1-22.
- Onogi K. and Coauthors (2007): The JRA-25 reanalysis. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.85, pp.369-432.
- Portmann F. T., Siebert S. and Doll P. (2010): MIRCA2000 – global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.24, pp.1-24.
- Rudolf B., Andreas B., Udo S., Anja M. C. and Markus Z. (2010): GPCP status Report December 2010. (<http://gpcc.dwd.de>, Last access Mar 20, 2013)
- Rutter N. and Coauthors (2009): Evaluation of forest snow processes models (SnowMIP2). *Journal of Geophysical Research*, Vol.114, pp.1-18.
- Souma K., Sunada K., Suetsugi T. and Tanaka K. (2013): Use of ensemble simulations to evaluate the urban effect on a localized heavy rainfall event in Tokyo, Japan, *Journal of Hydro-environment Research*. (in press)
- Souma K., Tanaka K., Nakakita E., Ikebuchi S. and Takara K.(2008): Effect of the LDAS Derived Realistic Distribution of Soil Moisture on a Summertime Heat Thunderstorm Prediction in Japan, *Proceedings of Water Down Under 2008*, pp.2339-2349, J2.3.
- Tanaka K. 2004. Development of the New Land Surface Scheme SiBUC Commonly Applicable to Basin Water Management and Numerical Weather Prediction Model. *Doctoral Dissertation, Graduate School of Engineering, Kyoto University: Kyoto*; 289.
- Tanaka K., Fujihara Y., Watanabe T., Kojiri T. and Ikebuchi S. (2006): Projection of the impact of climate change on the surface energy and water balance in the Seyhan River Basin Turkey, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.50, pp.31-36.
- Tanaka, K., Hayashi H., Nakakita E. and Ikebuchi S. (2001): Energy and Water Budget of Paddy Field in the Lake Biwa Basin, Japan, *Proc. of the International Workshop on GAME-AAN/Radiation*, 2001.
- Tanaka, K., Ishioka K., Nakakita E. and Ikebuchi S. (2003): Energy and water budget in the lake Biwa basin Japan, *Abstract of the IUGG2003*, pp.A114.
- Ushio T. and Coauthors (2009): A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol:87A, pp.137-151.
- Yatagai A., Kamiguchi K., Arakawa O., Hamada A., Yasutomi N. and Kitoh A. (2012): APHRODITE: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia based on a Dense Network of Rain Gauges, *Bulletin of American Meteorological Society*, vol.93, pp.1401-1415.

(論文受理日 : 2013年6月11日)