

H08 マニュアル

利用編

第2版

花崎 直太



謝辞（第一版 H08 2008 年版）

水資源モデル H08 は多くの方の協力の下、開発されてきました。10 年にわたるご指導を頂いた沖大幹先生、鼎信次郎先生に厚くお礼申し上げます。H08 の標準入力データおよびサブモデルを開発して下さった増田耕一先生、本谷研一先生、田中賢治先生、白川直樹先生に感謝いたします。また、初期の H08 を使い、多大なフィードバックを下さった岡澤毅さん、小岩祐樹さん、犬塚俊之さん、稲葉一考さん、Yadu Pokhrel さんに感謝します。

H08 は水文学、気象学、農学、その他の学問の上に成り立っています。また、検証に使ったデータは、世界中でデータを取り続けた方々の努力によるものです。こうした先人たちの偉業に心から敬意を表します。

この冊子を作成するにあたり、戦略的創造研究推進事業（CREST）持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム「世界の持続可能な水利用の長期ビジョン作成」（代表：鼎信次郎）ならびに科学研究費補助金 基盤研究(S) 課題番号 23226012「統合型水循環・水資源モデルによる世界の水持続可能性リスクアセスメントの先導」（代表：沖大幹）より支援を受けました。編集にあたり、上野博史さんの助力を得ました。表紙のデザインは高橋あおいさんによるものです。ここに記して感謝します。

謝辞（第二版 H08 2018 年版）

H08 は 2018 年に全面的に改訂されました。それに伴い、コードとマニュアルも大幅に改訂しました。H08 の開発と応用を支援して下さった全ての研究者に厚くお礼申し上げます。コードの検証とマニュアルの編集をして下さった齊藤裕佑さん、鴨志田穂高さん、藤原誠士さん、Ai Zhipin さん、Menaka Revel さん、松田ひかりさんに感謝します。また H08 の利便性を高めるため、データサーバの整備をして下さった鈴木昭平さん、駒崎幸之さん、宮原颯さん、阿部亮介さん、金澤佑哉さん、太田諭さんに感謝します。

バージョン情報

| | |
|------------|---|
| 2010/08/23 | ソースコード ver20100823 リリース、マニュアル利用編 ver20100823 リリース |
| 2010/10/31 | ソースコード ver20101031 リリース、マニュアル利用編 ver20101031 リリース |
| 2011/01/31 | ソースコード ver20110131 リリース、マニュアル利用編 ver20110131 リリース |
| 2012/01/01 | ソースコード ver20120101 リリース、マニュアル利用編 ver20120101 リリース |
| 2012/08/01 | ソースコード ver20120801 リリース、マニュアル利用編 ver20120801 リリース |
| 2013/05/01 | ソースコード ver20130501 リリース、マニュアル利用編 ver20130501 リリース |
| 2019/01/01 | ソースコード ver20190101 リリース、マニュアル利用編 ver20190101 リリース |
| 2019/07/01 | ソースコード ver20190701 リリース、マニュアル利用編 ver20190701 リリース |

目次

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 第1章 はじめに | 1 |
| 1.1 はじめに..... | 1 |
| 1.2 H08 に関連する文献..... | 1 |
| 1.3 読者への注意とお願い..... | 2 |
| 第2章 H08 を利用するための計算機環境 | 3 |
| 2.1 必要な計算機環境..... | 3 |
| 2.2 必要なフリーソフト..... | 3 |
| 第3章 インストール | 4 |
| 3.1 H08 のインストール..... | 4 |
| 3.2 H08 の環境設定..... | 5 |
| 3.3 ENDIAN (上級者向け)..... | 5 |
| 第4章 H08 のディレクトリ構造 | 6 |
| 4.1 H08 のディレクトリ構造..... | 6 |
| 4.2 第1ディレクトリ..... | 6 |
| 4.3 第2ディレクトリ..... | 7 |
| 4.4 BIN/ディレクトリ..... | 7 |
| 4.5 PRE/と PST/ディレクトリ..... | 8 |
| 4.6 MAKEFILE..... | 8 |
| 4.7 第3ディレクトリ..... | 9 |
| 第5章 H08 の入出力ファイル | 10 |
| 5.1 H08 で扱うデータの次元..... | 10 |
| 5.2 H08 で扱うファイルの種類..... | 10 |
| 5.3 空間の表し方..... | 11 |
| 5.4 時間の表し方..... | 13 |
| 5.5 H08 FORMAT 2D の書式..... | 14 |
| 5.6 H08 FORMAT 1D の書式..... | 15 |
| 第6章 地図データの作成 | 16 |
| 6.1 H08 モデルの空間基本情報の作成..... | 16 |
| 6.2 陸面過程サブモデルを利用する時に必要な地図データの作成..... | 18 |
| 6.3 河川サブモデルを利用するときに必要な地図データの作成..... | 20 |
| 6.4 国境・人口情報の作成..... | 22 |
| 6.5 作物成長サブモデルのための地図情報の作成..... | 22 |
| 6.6 貯水池サブモデルのための地図情報の作成..... | 23 |
| 6.7 取水サブモデルのための地図情報の作成..... | 24 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 第7章 気象データ | 28 |
| 7.1 気象データ | 28 |
| 7.2 気象データの準備方法 | 28 |
| 7.3 応用的な気象データの準備方法 | 29 |
| 第8章 陸面過程サブモデル | 31 |
| 8.1 陸面過程サブモデルの仕組み | 31 |
| 8.2 陸面過程サブモデルの計算過程 | 32 |
| 8.3 陸面過程サブモデルの実行1：前処理 | 33 |
| 8.4 陸面過程サブモデルの実行方法2：本計算 | 35 |
| 8.5 陸面過程サブモデルの実行方法3：後処理 | 38 |
| 第9章 河川サブモデル | 41 |
| 9.1 河川サブモデルの仕組み | 41 |
| 9.2 河川サブモデルの計算過程 | 41 |
| 9.3 河川サブモデルの実行方法1：前処理 | 42 |
| 9.4 河川サブモデルの実行方法2：本計算 | 42 |
| 9.5 河川サブモデルの実行方法3：後処理 | 43 |
| 第10章 作物成長サブモデル | 44 |
| 10.1 作物成長サブモデルの仕組み | 44 |
| 10.2 作物成長サブモデルの計算過程 | 48 |
| 10.3 作物成長サブモデルの実行方法1：前処理 | 49 |
| 10.4 作物成長サブモデルの実行方法2：本計算 | 49 |
| 10.5 作物成長サブモデルの実行方法3：後処理 | 50 |
| 第11章 貯水池操作サブモデル | 53 |
| 11.1 貯水池操作サブモデルの仕組み | 53 |
| 11.2 貯水池操作サブモデルの計算過程 | 54 |
| 11.3 貯水池操作サブモデルの実行方法1（前処理） | 55 |
| 11.4 貯水池操作サブモデルの実行方法2（本計算） | 55 |
| 11.5 貯水池操作サブモデルの実行方法3（後処理） | 56 |
| 第12章 環境用水サブモデル | 57 |
| 12.1 環境用水サブモデルの仕組み | 57 |
| 12.2 環境用水サブモデルの計算過程 | 57 |
| 12.3 環境用水サブモデルの実行方法1（前処理） | 58 |
| 12.4 環境用水サブモデルの実行方法2（本計算） | 58 |
| 12.5 環境用水サブモデルの実行方法3（後処理） | 58 |
| 第13章 統合モデル | 59 |
| 13.1 結合モデルの仕組み | 59 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 13.2 結合モデルの計算過程 | 60 |
| 13.3 結合モデルの前処理 | 61 |
| 13.4 結合モデルの本計算 | 61 |
| 13.5 結合モデルの後処理 | 65 |
| 第14章 応用的な使い方 | 66 |
| 14.1 温暖化 | 66 |
| 14.2 領域モデル | 67 |
| 補遺1 H08 ANALYSIS TOOLS | 68 |
| A1.1 別冊 | 68 |
| 補遺2 コーディングルール | 69 |
| A2.1 変数の名前の付け方 | 69 |
| A2.2 時間ループ | 69 |
| A2.3 コメント文 | 69 |
| A2.4 変数と配列の宣言と初期化 | 70 |
| A2.5 配列の次元 | 70 |
| 補遺3 ADMにあるファイル | 72 |
| A3.1 BACKUP.SH | 72 |
| A3.2 CLEAN.SH | 72 |
| A3.3 COUNT.SH | 72 |
| A3.4 INSTALLER.SH | 72 |
| 参考文献 | 73 |

第1章

はじめに

この章では H08 とは何かを理解しよう。

1.1 はじめに

水は全ての生命にとって、不可欠のものである。人間にとっても、水は生存、生活、生産に不可欠である。世界の水利用は、20 世紀中ごろから急増したが、人口の増加や経済の発展によって、少なくとも 21 世紀中ごろまで、増加が続くと予測されている。さらに、地球温暖化によって、雨や雪の降り方が変わったり、雪融けが早まったり、一部の地域では乾燥化が進んだりすると予測されている。この結果、水不足などの問題に苦しむ地域や人々が今より増えるのではないかと考えられている。

国立環境研究所、東京大学、東京工業大学などからなる研究チームは、こうした地球規模の水資源の問題を現在から将来にわたって見通すためのコンピュータプログラム、全球水資源モデル H08¹の開発に取り組んできた。この冊子は、H08 を利用するための方法を解説する。

1.2 H08 に関連する文献

本冊子は、大規模なコンピュータプログラムである H08 をユーザとして利用する方法に絞って解説する。次章で詳しく述べるが、H08 を利用するためには UNIX ベースの計算機環境が必要である。UNIX ベースの計算機の利用に慣れていない読者は花崎と新田(2009)をご覧ください。

H08 について詳しく知りたい読者は Hanasaki et al. (2008a,b)をご覧ください。この 2 編の論文には H08 開発の背景、先行研究のレビュー、モデルの理論、検証結果、全球水資源評価への応用、主要な課題などが示されている。同様の文献として花崎(2006)があるが、書かれた後に、H08 にかなり改良が加えられたため、参照する場合は、あくまで参考資料として捉えてほしい。その後、H08 に仮想水に関連する機能の改良・拡張が加えられ、Hanasaki et al. (2010)にまとめられた。さらに、地下水・運河導水・海水淡水化等の改良が加えられ、Hanasaki et al. (2018)にまとめられた。この冊子で紹介する H08 モデルは、この Hanasaki et al. (2010)と Hanasaki et al. (2018)の改良と拡張を含むので、こちらもご覧ください。

¹ 以前、このモデルは H07 と呼ばれていたことがあるので、その理由を記しておく。全球水資源モデルについて記した最初の論文が 2007 年、Hydrology and Earth System Sciences 誌に投稿された。この原稿はまず Hydrology and Earth System Sciences Discussion 誌にディスカッションペーパー（査読を受けていない原稿）としてすぐに掲載された。そこで、全球水資源モデルはこのディスカッションペーパー Hanasaki et al. (2007a,b)を略して H07 と呼ばれるようになった。その後 2008 年に原稿は受理されて Hanasaki et al. (2008a,b)となり、これを略して H08 と改称された。

1.3 読者への注意とお願い

まず注意点である。これまで開発者たちは注意深くソースコードを開発してきたが、H08 にはまだバグがあるかもしれない。また、開発者たちは H08 の性能向上に努力してきたが、まだ H08 の計算結果が現実と大きく異なることがあるかもしれない。これらがもたらす読者の不利益に対し、開発者は一切責任を負わない。あくまでも利用者の責任で H08 を利用してほしい。

次にお願である。まず、この冊子は開発者自身の手によって書きおろされた。可能な限り分かりやすく書いたつもりだが、H08 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、どこが分かりにくかったか、なるべく詳しく開発者に教えてほしい。また、H08 には改良と拡張の余地が無限にある。もし、あなたが H08 の改良や拡張に成功し、その成果を H08 のユーザに還元することを希望するならば、是非開発者に一報してほしい。双方の権利についてよく相談した後、その成果を H08 の改良版に反映すべく、できる限りの努力をさせていただく。

H08 について引用する際は、以下のようにしてほしい。

Hanasaki, N., Yoshikawa, S., Pokhrel, Y., and Kanae, S.: A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 789-817, 2018.

また、H08 を利用して計算を実施するには、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、一つ一つについてきちんと引用してほしい。

1.4 動画マニュアルについて

本冊子を進めるにあたって、読者がより理解しやすくなるように「H08 動画マニュアル」を用意した。H08 のホームページ、また下記 URL から閲覧することができるので、参照してほしい。

【注：20130501 版を対象にしており、20181001 版に対応していない。】

<https://www.youtube.com/channel/UCUSzEjQYcOP-gkXELhrpdBA>

第2章

H08 を利用するための計算機環境

この章では H08 を利用するための計算機環境について理解しよう。

2.1 必要な計算機環境

H08 は Bourne シェルスクリプトと Fortran ソースコードから成り立っている。このため、H08 を利用するには以下の2つの条件を満たす計算機環境が必要である。

1. Bourne シェルスクリプトが使えること。つまり、Linux (Redhat, CentOS, Ubuntu)、MacOS が稼働する計算機にのみインストールが可能である。
2. Fortran コンパイラが使えること²。

加えて、H08 は大容量の入出力データを扱うため、計算機には数百 GB 程度のハードディスクがあることが望ましい。

2.2 必要なフリーソフト

H08 を実行するには、計算機に以下のフリーソフトがインストールされていることが必要である。

1. GMT(The Generic Mapping Tools) : 地図描画ソフト
2. ImageMagick : ラスター画像表示・編集ソフト
3. NetCDF : NetCDF 形式の気象データの操作ソフト

² これまでに稼働実績のあるコンパイラは商用の Intel Fortran Compiler、フリーソフトの gfortran の2種類である。

第3章

インストール

この章では H08 のインストールについて理解しよう。

3.1 H08 のインストール

H08 のインストールの手順は以下のとおりである。

1. H08 のインストールファイルは H08_yyyymmdd.tar.gz の 1 つである。まず、プログラムを置きたいディレクトリに GitHub (<https://github.com/h08model/H08>) の release から最新版の tar.gz ファイルをダウンロードする。
2. 圧縮ファイルを解凍し、書庫ファイルを伸張する。

```
% tar zxvf H08_yyyymmdd.tar.gz
```
3. H08_yyyymmdd というディレクトリができるので、そこに移動する。

```
% cd H08_yyyymmdd
```
4. その中にある `install.sh` を以下のように実行する。

```
% sh ./install.sh
```
5. 少しすると次のようなメッセージが出て終了する。

```
please set adm/Mkinclde
afterward, continue again
```
6. `adm` というディレクトリの中に、`Mkinclude` という名前のファイルを作成する。このディレクトリの中には、いくつかのサンプルファイルが用意されているので、コピーして利用するとよいだろう。
7. `Mkinclude` を編集する。`Mkinclude` で設定する主要なシェル変数を以下に説明する。
 シェル変数 `INC` では NetCDF の `include` ファイルへのパスを指定する³。
 シェル変数 `LIB` では NetCDF の `library` ファイルへのパスを指定する⁴。
 シェル変数 `FC` では Fortran compiler へのパスを指定する。ここで、Intel Fortran Compiler を利用する場合は、

```
FC=ifort -assume byterecl5
```

 のように、“`-assume byterecl`”というオプションを必ず含めること。
8. `adm` ディレクトリ内に、ファイル `Mkinclude` を作成したら、再度 `install.sh` を実行する⁶。これによってプログラムが全てコンパイルされる。

³ 具体的には `netcdf.inc` などのファイルがあるディレクトリを指定すればよい。Linux は `/usr/include` や `/usr/local/include` に、Mac の場合はこれらに加えて `/sw/include` にあることが多い。

⁴ 具体的には `libnetcdf.a` などのファイルがあるディレクトリを指定すればよい。Linux は `/usr/lib` や `/usr/local/lib` に、Mac の場合はこれらに加えて `/sw/lib` にあることが多い。

⁵ バイナリデータを読み取る際の、`recl`(読み取り長)の単位が、コンパイラによって、バイト数である場合と、変数の個数である場合がある。Intel Fortran Compiler は後者であるが、H08 は前者とみなしてソースコードが開発されている。そこで、このオプションをつけることによって、`recl`の単位をバイト数に設定するのである。

⁶ 計算機の OS が Ubuntu の場合は、`$(DIRH08)/bin/`にある `htdraw.sh` と `htdrawts.sh` をシェルスクリプト内の記述に従って編集した後に、`install.sh` を実行する。

3.2 H08 の環境設定

インストールが終了したら、計算機の設定を行おう。まず、自分のログインシェルを調べよう。

```
% echo $SHELL
```

このとき `/bin/bash` と表示される場合、あなたの環境設定ファイルは `~/.bashrc` である。`adm/sample.bashrc` をよく読んで編集し、`~/.bashrc` の末尾に挿入するとよい。同じく、`/bin/tcsh` と表示される場合はあなたの環境設定ファイルは `~/.cshrc` である。この時は `adm/sample.cshrc` を参考にする。一番簡単なやり方はサンプルファイルの `DIRH08` を編集し、以下のコマンドを適用することである。

```
% cat adm/sample.bashrc >> ~/.bashrc
```

設定が終わると、次のログイン以降に変更が反映される。再ログインなしに環境設定を有効にしたい場合は、次のように `source` コマンドを使う。

```
% source ~/.bashrc
```

3.3 Endian(上級者向け)

Endian とはバイナリの記述形式であり、`big` と `little` の 2 種類がある。H08 の開発は `big endian` が採用されている Sun Microsystems の UltraSPARC CPU 環境で始まった。これに対し、ユーザの多い Intel 社の CPU (Itanium2, Xeon, Core 2 Duo 等) は標準で `little endian` が採用されている。同一計算機内で混在させなければ、どちらで記述しても全く問題はない。

ちなみに、Intel 社の CPU を搭載したマシンにおいて、`big endian` 形式でバイナリを記述するには環境設定ファイルに以下のように加える。

- Intel Fortran compiler を利用する場合
`setenv F_UFMTENDIAN big` (ログインシェルが `/bin/tcsh` の場合)
`export F_UFMTENDIAN=big` (ログインシェルが `/bin/bash` の場合)
- gfortran を利用する場合
`setenv GFORTTRAN_CONVERT_UNIT big_endian` (ログインシェルが `/bin/tcsh` の場合)
`export GFORTTRAN_CONVERT_UNIT=big_endian` (ログインシェルが `/bin/bash` の場合)
- G95 を利用する場合
`setenv G95_ENDIAN big` (ログインシェルが `/bin/tcsh` の場合)
`export G95_ENDIAN=big` (ログインシェルが `/bin/bash` の場合)

第4章

H08 のディレクトリ構造

この章では H08 のディレクトリ構造について理解しよう。この章は読むだけではとても分かりにくいので、第3章で作成したソースコードを見ながら読み進めてほしい。

4.1 H08 のディレクトリ構造

H08 のディレクトリ構造は、基本的に3階層からなる。それぞれのディレクトリを第1ディレクトリ、第2ディレクトリ、第3ディレクトリと呼ぶ。図 4-1 は、第2ディレクトリまでを模式的に示したものである。

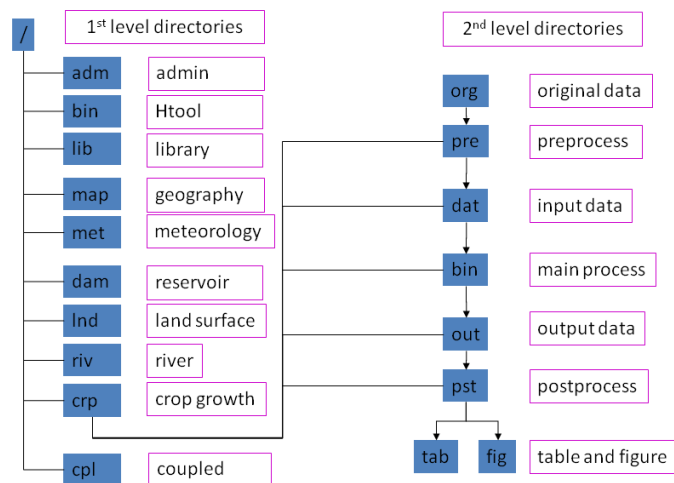


図 4-1 H08 のディレクトリ構造

4.2 第1ディレクトリ

表 4-1 は第1ディレクトリの一覧を示したものである。第1ディレクトリは H08 の構成要素の大枠を表している。

表 4-1 第1ディレクトリ

| ディレクトリ | 内容 |
|--------|--|
| adm/ | Administrator: 設定・管理 |
| bin/ | Binary: 入出力データ解析ソフト H08 Analysis Tools |
| lib/ | Library: ライブラリ |
| map/ | Geographical data: 入力地図データ |
| met/ | Meteorological data: 入力気象データ |
| lnd/ | Land model: 陸面過程サブモデル |
| riv/ | River model: 河川サブモデル |

| | |
|------|---------------------------------------|
| crp/ | Crop growth model: 作物成長サブモデル |
| dam/ | Reservoir operation model: 貯水池操作サブモデル |
| cpl/ | Coupled model: 結合モデル |

4.3 第2ディレクトリ

第1ディレクトリのうち、adm/, bin/, lib/を除いた、map/, met/, lnd/, riv/, crp/, dam/, cpl/を見てみよう。どれにもほぼ同じ種類の第2ディレクトリがあることが分かるだろう。表 4-2 はこれらの第2ディレクトリの一覧を示している。第2ディレクトリはデータ処理の流れを表している。H08 を利用するに当たって、第2ディレクトリの役割を理解することは極めて重要である。

第2ディレクトリで最も重要なのは、dat/, bin/, out/である。それぞれに、入力データ、主プログラム、出力データが格納される。データの流れとしては、dat/にあるファイルを入力データとして、bin/にある主プログラムが実行され、out/に出力データが書き出されることになる。ここで、主プログラムの入出力ファイルは全て H08 Format 形式と呼ばれる規則に沿って記述される。この H08 Format 形式については次章で述べる。

表 4-2 第2ディレクトリ

| ディレクトリ | 内容 |
|--------|--|
| org/ | Original data: H08 Format 形式以外で記述されたデータ |
| pre/ | Preprocess: データを H08 Format 形式に変換するプログラム |
| dat/ | Input data: H08 Format 形式の入力データ |
| bin/ | Main process: 主要プログラム |
| out/ | Output data: H08 Format 形式の出力データ |
| pst/ | Postprocess: 出力データを図表に変換するプログラム |
| fig/ | Figure: 図 |
| tab/ | Table: 表 |

世の中にあるデータのほとんどは、H08 Format 形式で記述されていない。例えば、気象データは NetCDF 形式などで記述・配布されていることが多い。このような場合は、まずそれらをオリジナルデータとして org/に格納し、pre-process(前処理)として pre/内のプログラムを使って H08 Format 形式に変換する。このとき、H08 Format 形式のファイルは dat/に格納される。

また、一方で out/に書き込まれた出力ファイルは、H08 Format 形式（バイナリ）で記述されており、人間には読めない。そのため、post-process(後処理)として pst/内のプログラムを使って、図や表に変換する。このとき図表はそれぞれ fig/および tab/に格納される。

4.4 bin/ディレクトリ

bin/の中には main で始まり、.f で終わる名前のファイルが含まれている。これらがメインプログラムの Fortran ソースコードである。これらをコンパイルして実行ファイルを作った後、計算設定を示した設定ファイルを与えれば、実行することができる。ここで、同じディレクトリの中に、main で始まり、.sh で終わる名前のファイルも含まれていることに気づくだろう。これらは

設定ファイルを作成するための Bourne Shell スクリプトであり、このテキストでは実行シェルと呼ぶ。このファイルを編集して実行すると、設定ファイルを自動的に生成し、メインプログラムを実行するようになっている。つまり、シミュレーションを実行するには `main*.sh` を実行すればよい。また、条件を変えてシミュレーションを行うには `main*.sh` の中身を書き換えればよい。

メインプログラムのソースコード(`main*.f`)は多くのサブルーチンや関数を呼び出すようになっている。呼び出すサブルーチンや関数のソースコードは原則として同じディレクトリ (`lsm/bin/main.f` なら `lsm/bin/` に格納されているソースコードということ) か、`lib/` (第1ディレクトリ) にある。

H08 には5つの第2ディレクトリの `bin/` があり、それぞれに `main.sh` がある。それぞれのメインプログラムと主なサブルーチンは表 4-3 のようになっている。まず、H08 では、`lnd/bin/main.sh`, `riv/bin/main.sh`, `crp/bin/main.sh`, `dam/bin/main.sh` を実行することで、陸面過程サブモデル、河川サブモデル、作物成長サブモデル、貯水池操作サブモデルをそれぞれ独立に利用することが可能である。また、`cpl/bin/main.sh` を実行して、これらを結合したモデルとして利用することも可能である。`cpl/bin/` にある結合モデルのメインプログラム `main*.f` は、`lnd/bin/`, `riv/bin/`, `dam/bin/`, `crp/bin/` にある `main*(.f)` を構成しているサブルーチンを呼び出す仕組みになっている。

表 4-3 サブモデル

| モデル | 実行シェル | メインプログラム | 主なサブルーチン |
|------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 陸面過程サブモデル | <code>lnd/bin/main.sh</code> | <code>lnd/bin/main</code> | <code>lnd/bin/calc_leakyb.o</code> |
| 河川サブモデル | <code>riv/bin/main.sh</code> | <code>riv/bin/main</code> | <code>riv/bin/calc_outflow.o</code> |
| 作物成長サブモデル | <code>crp/bin/main.sh</code> | <code>crp/bin/main</code> | <code>crp/bin/calc_crpfld.o</code> |
| 貯水池操作サブモデル | <code>dam/bin/main.sh</code> | <code>dam/bin/main</code> | <code>dam/bin/calc_resope.o</code> |
| 結合モデル | <code>cpl/bin/main.sh</code> | <code>cpl/bin/main</code> | 上記の全て |

4.5 pre/と pst/ディレクトリ

第2ディレクトリ `pre/` および `pst/` にも多数の実行シェルが入っている。`pre/` には H08 Format 形式以外で記述された元データを H08 Format 形式に変換するための実行シェルが格納されている。これらは `pre/rep*.sh` という名前になっている。`pst/` にはメインプログラムの実行結果を処理する実行シェルが格納されている。`out/` にある出力ファイルを解析する実行シェル (`pst/calc*.sh`)、描画を行う実行シェル (`pst/draw*.sh`)、表を作成する実行シェル (`pst/list*.sh`) などがある。これらの実行シェルの多くは実働プログラム `prog*.f` を呼んでいる。

4.6 Makefile

第2ディレクトリ `bin/` にはメインプログラムのソースコード (`main.f`) があつた。メインプログラムのソースコードはいくつかのサブルーチンや関数を呼び出す構造になっている。サブルーチンや関数のソースコード (`calc*.f` など) は同じディレクトリに置いてあることもあれば、`lib/` の中においてあることもある。このように複数のソースコードを結合して、一つの実行ファイルを作るための方法は Makefile の中に記述されている⁷。

⁷ Make の基本については、「make 改訂版 (Andrew Oram and Steve Talbott、矢吹道郎監訳、オライリー・ジャパ

bin/、pre/、pst/内部のソースコードをコンパイルするには、

```
% make all
```

というコマンドを実行する。すると、そのディレクトリにある全てのプログラム⁸がコンパイルされる。ちなみに、第3章で実施した

```
% sh install.sh
```

を再度実行すると、H08 の全てのディレクトリにおいて”make all”を行うことができる。

```
% make clean
```

コマンドを実行すると、ディレクトリ内のオブジェクトファイル(*.o)と実行ファイル(main など)を消すことができる。このコマンドは、コンパイラやコンパイラのオプションを変えて再コンパイルするときに使う。

複数のディレクトリにある Makefile で共通に使われる設定や、ライブラリ、インクルードファイルなどは adm/Mkinclude に記述されている。Makefile を読むと、include 文を使って adm/Mkinclude ファイルを読み込んでいるのが分かるだろう。

4.7 第3ディレクトリ

第3ディレクトリは org/, dat/, out/, fig/, tab/にのみ現れる。org/において第3ディレクトリは、データの提供者の略称で表される。例えば Hanasaki et al. (2006)によって提供されたデータなら H06 などとなる。dat/, out/, fig/, tab/において第3ディレクトリは、変数の略称で表される。例えば、met/dat/にある気温データの場合、met/dat/Tair__となる。この例のように、dat/, out/, fig/, tab/における第3ディレクトリの名前は長さは8文字と決まっている。長さを変えると誤作動するので注意してほしい。具体的にどんな名前の第3ディレクトリがあるのかについては第6章以降で詳しく紹介する。

ン)」の第1章を参照のこと。

⁸ 実際には、Makefile の冒頭にあるシェル変数 OBJS で定義されているプログラム

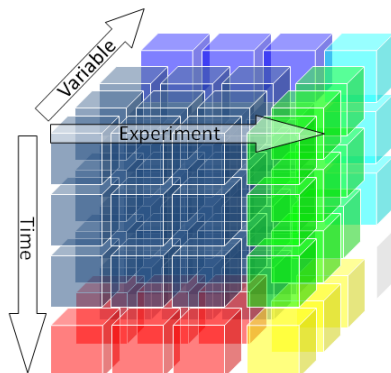
第5章

H08 の入出力ファイル

この章では H08 の入出力ファイルについて理解しよう。

5.1 H08 で扱うデータの次元

H08 の入出力ファイルを解説するにあたり、少し遠回りになるが、データの次元について考えてみよう。この世界の時空間は何次元だろうか？普通に考えると、空間が3次元、時間が1次元あるので、合わせて4次元である。ここで、あと2次元考えてみよう。まず H08 を使ってコンピュータシミュレーションを行うと、「もし世界が〇〇だったら」、というように、同じ場所と時間に対して、別の世界を考えることができる。そこで、こうして現れた別の世界を、便宜上「実験」次元として加えよう。次に、ある場所のある時間において、気温や降水量など、様々な状態を示す量があるはずである。こうした様々な量をひとまとめにし、やはり便宜上「変数」次元として加えよう。これらを合わせると、H08 で扱うデータは6次元ということになる（図 5-1）。



- Space: 3D (x,y,z)
- Time: 1D (t)
- Experiment: 1D (e)
(Each experiment expresses different world)
- Variable: 1D (v)
(The world is superposition of variables)
- Total: 6D (x,y,z,t,e,v)

図 5-1 H08 で扱うデータの次元

5.2 H08 で扱うファイルの種類

仮に現在のコンピュータで、上記の6次元の配列を扱うことができれば、H08 の全ての入出力データは1つのファイルに収めることができる。しかし、通常の計算設定の場合、そのファイル容量は数十 GB から数 TB になり、大きすぎて扱うことができない。よって、H08 では、扱いやすい大きさのファイルに分割して保存・利用している。

水文・水資源学的に有効な6次元データの分割方法は、基本的に2つしかない。一つ目は時間・実験・変数・高さの4つの次元を固定して緯度・経度に自由度のある地理分布データ（2次元）ごとに分割する方法であり、二つ目は空間・実験・変数の5つの次元を固定して時系列データ（1次元）ごとに分割する方法である。このとき、前者はバイナリ（4バイト実数）で、後者

はテキストで記述すると扱いやすい。いずれについても、H08 の中では書式が厳密に決めている。よって以降では、前者を H08 Format 2D 形式、後者を H08 Format 1D 形式と呼ぶことにする。

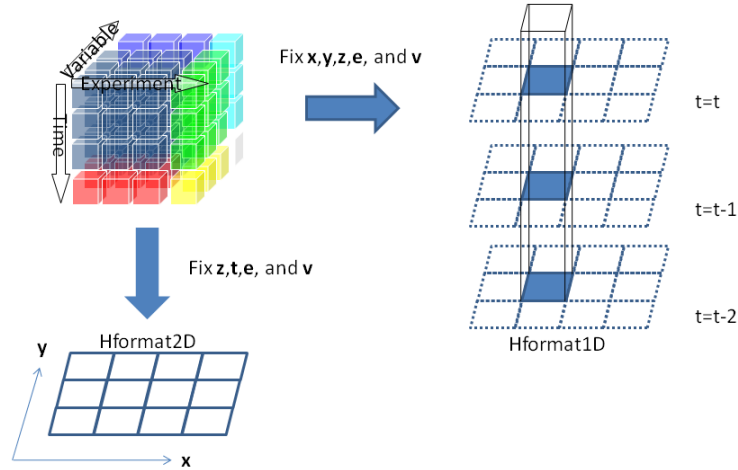


図 5-2 H08 で扱うファイル

5.3 空間の表し方

さて、前節では時間と空間の次元について考えた。この節では空間の表し方について考えてみよう。ここで、空間領域を全球、空間解像度を緯度経度 $45^\circ \times 45^\circ$ とした場合を考えよう (図 5-3)。全球という空間領域は、経度の最大値(latmax)と最小値(latmin)、緯度の最大値(lonmax)と最小値(lonmin)をそれぞれ、 180° 、 -180° 、 90° 、 -90° と設定することで表すことができる。空間解像度は、等間隔であることを前提とすれば、経度方向の分割数(nx)と緯度方向の分割数(ny)をそれぞれ、8 および 4 と設定することで表すことができる。

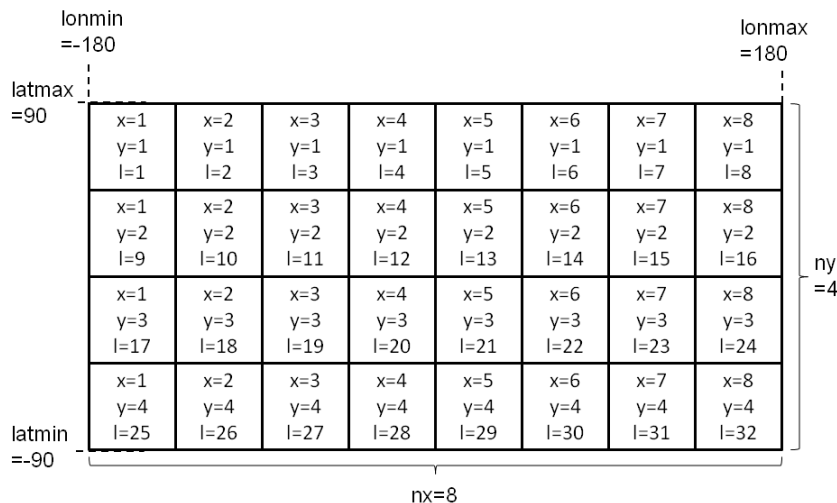


図 5-3 H08 の空間座標

緯度経度を使った空間の表し方では計算を行う上で不便なため、H08 では図 5-3 のように、X 座標と Y 座標を定めている。X 座標とは分割した格子を LONMIN から LONMAX へとたどっていく座標であり、X は 1 から NX までの値を取る。Y 座標とは分割した格子を LATMAX から LATMIN へとたどっていく座標であり（向きに注意）、Y は 1 から NY までの値を取る。さらに、X 座標と Y 座標を組み合わせたものが L 座標である。基本的に、L 座標は次のように表現できる。

$$L = NX * (Y - 1) + X \quad (5-1)$$

このとき、L は 1 から NL (= NX × NY) までの値をとる。さて、このようにすると、ある一つの格子を X 座標と Y 座標の 2 つで、あるいは L 座標の 1 つで表すことができる。よって、この 2 つの表し方の換算表を作ることができる。換算表の作り方はいくつかあるが、L 座標を X 座標に変換する換算表と L 座標を Y 座標に変換する換算表を H08 では基本とする。

以上をまとめると、H08 において、空間は表 5-1 で示される 9 つの変数から規定される。

表 5-1 空間を規定する 9 つの変数

| シェル変数 | Fortran 変数 | 説明 |
|--------|------------|-----------------|
| LONMIN | n0lonmin | 経度の最小値 |
| LONMAX | n0lonmax | 経度の最大値 |
| LATMIN | n0latmin | 緯度の最小値 |
| LATMAX | n0latmax | 緯度の最大値 |
| NX | n0x | 経度方向の分割数 |
| NY | n0y | 緯度方向の分割数 |
| NL | n0l | 格子の総数 |
| L2X | c0l2x | L 座標 X 座標変換ファイル |
| L2Y | c0l2y | L 座標 Y 座標変換ファイル |

ちなみに、L 座標は式 5-1 以外で定義される場合もある。例えば、我々は世界の陸域の水文・水資源過程を扱おうとしているため、海域は計算の対象外である。図 5-4 のように全体で 32 格子あるうち 8 格子だけが陸の場合、陸の格子にだけ L 座標を割り当てることもある。例えば、The second Global Soil Wetness Project (GSWP2; Dirmeyer et al., 2006) で配布されたデータは、全球 $1^\circ \times 1^\circ$ のものだったが、海域の格子は欠損値が入るだけなので、データは全格子 (NX × NY = 360 × 180 = 64800) ではなく、陸域の格子 (NL = 15238) のみについてのものであった。こうすることにより、データのファイル容量を約 3 分の 1 にできる。ただし、この場合、L 座標と X 座標、Y 座標の関係は式 5-1 のように単純ではなくなる。ゆえに、L2X と L2Y が重要なのである。

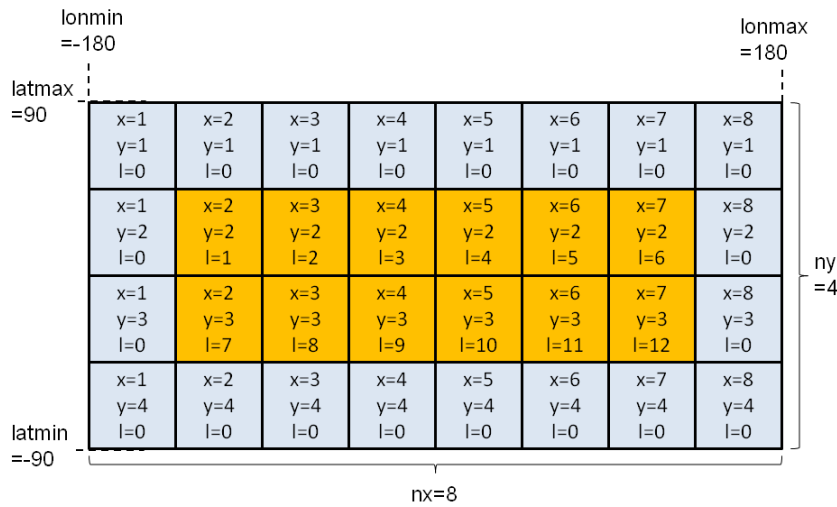


図 5-4 陸域だけに L 座標を与える方法

5.4 時間の表し方

次に時間の表し方について考えてみよう。H08 ではグレゴリオ暦、つまり、閏年を含む通常のカレンダー通りに時間が刻まれる。時刻は年、月、日、あるいは年、月、日、時で表す。例えば 2010 年 8 月 23 日を表すときは、

20100823

2010 年 8 月 23 日 15:00 を表すときは、

2010082315

となる。現段階で、時間単位未満をファイルに書き出す機能はない。

データの時刻の表し方として、瞬時値と平均値がある。まず瞬時値とは、その時刻（瞬間）の量のことである。平均値とは、ある期間における量の平均である。H08 では状態量（土壌水分量や河道内貯留量）を表す時、瞬時値を使い、フラックス（流出量や河川流量）を表す時、平均値を使う。平均値は、平均をとる期間の最後の時刻で表す（図 5-5）。よって、保存則は次のように表される

$$S_t - S_{t-1} = F_t \times \Delta t$$

ここで、 S は状態量、 F はフラックス、 Δt は時間間隔を表す。

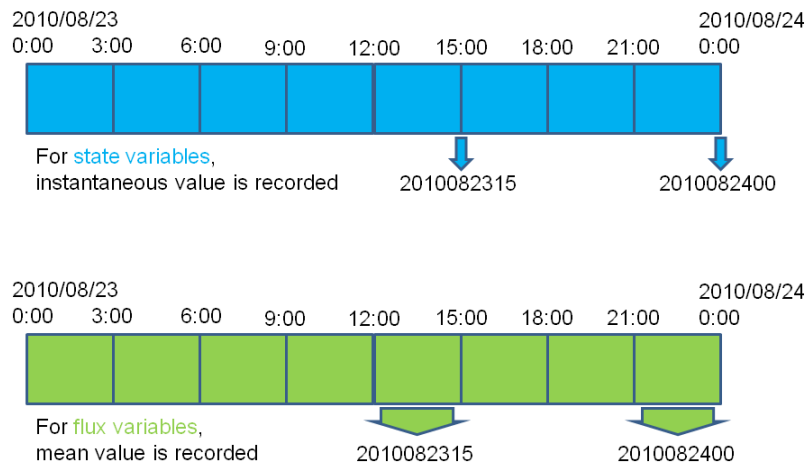


図 5-5 時刻と状態量とフラックスの表す量の関係

次に、年・月・日平均について考えよう。例えば 2010 年 1/1 0:00 から 2011/1/1 0:00 までの 1 年間に 3 時間間隔で計算したとする。そのとき、2010 年の状態量とフラックスの年・月・日平均は表 5-2 のように定義される。

表 5-2 2010 年の計算結果の年・月・日平均

| 平均 | 表記 | 状態量 | フラックス |
|-------|------------|-----------------------|---|
| 年平均 | 20100000 | 2011/1/1 0:00 の瞬時値 | 2010/1/1 0:00 から 2011/1/1 0:00 までの平均値 |
| 月平均 | 20100100 | 2010/2/1 0:00 の瞬時値 | 2010/1/1 0:00 から 2010/2/1 0:00 までの平均値 |
| 日平均 | 20100101 | 2010/1/2 0:00 の瞬時値 | 2010/1/1 0:00 から 2010/1/2 0:00 までの平均値 |
| 3時間平均 | 2010010100 | 2010/1/1 0:00 の瞬時値 | 2009/12/31 21:00 から 2010/1/1 0:00 までの平均値 |

5.5 H08 Format 2D の書式

この節では、H08 Format 2D のファイル形式、ファイル名、拡張子について述べる。

ファイル形式は 4 バイト実数のバイナリファイルである。ヘッダ情報はなく、格子の数だけ、実数が並んでいる。実数の並び順は L 座標と同一である。

ファイル名は、20 文字あるいは 22 文字からなり、プロジェクト名（4 文字）、実験名（4 文字）、年（4 文字）、月（2 文字）、日（2 文字）、時（2 文字）および拡張子（4 文字）をつなげたものである。H08 Format 2D は、上述の通り、時間・実験・変数および空間の高さの次元を固

定する。時間は、年、月、日、時を指定することで固定する。実験はプロジェクト名と実験名を指定することで固定する。変数は第3ディレクトリ名（8文字）を指定することで固定する。このように、H08 Format 2D のファイル名は、ヘッダ情報を兼ねたものであり、ファイル名の文字長も厳密に決まっている。この規則を守らないと誤動作し、基本的にプログラムは止まってしまうので注意してほしい。

拡張子は、計算対象の空間領域、空間解像度に固有のもので、4文字であれば任意に決めてよい。ただし、開発者は以下のものを使っている。

表 5-3 拡張子の例

| 拡張子 | 空間領域 | 空間解像度 |
|------|---------------|-----------|
| .one | 全球 | 1.0°×1.0° |
| .hlf | 全球 | 0.5°×0.5° |
| .gl5 | 全球 | 5'×5' |
| .cp5 | Chao Phraya 川 | 5'×5' |

以上をまとめると、例えば、2001年1月1日12:00(UTC)のCRUというプロジェクト名、2.0という実験名の、全球1°×1°解像度の気温データのファイル名は次のように表される。

Tair___/CRU_2.0_2001010112.one

5.6 H08 Format 1D の書式

この節では、H08 Format 1D のファイル形式、ファイル名、拡張子について述べる。

ファイル形式はテキストファイルであり、日単位データの場合、1列目に年、2列目に月、3列目に日、4列目にデータが並んでいる。列の区切りは tab あるいは1つ以上の space である。

ファイル名は、20文字からなり、プロジェクト名（4文字）、実験名（4文字）、場所を示すID（8文字）および拡張子（4文字）をつなげたものである。H08 Format 1D は、上述の通り、空間、実験、変数の次元を固定する。空間は場所を示すIDを指定することで固定する。実験はプロジェクト名と実験名を指定することで固定する。変数は第3ディレクトリ名（8文字）を指定することで固定する。H08 Format 2D と異なり、拡張子は.txtのみである⁹。

以上をまとめると、例えば、L座標で12345地点のCRUというプロジェクト名、2.0という実験名の気温の時系列データは次のように表される。

Tair___/CRU_2.0_00012345.txt

⁹ このやり方ではファイル名から時間解像度情報が得られないため、年単位なら.yr、月単位なら.mo などに変更することも検討している。

第6章

地図データの作成

H08 の入力データは地図データと気象データであるが、この章では地図データの作成方法について学ぼう。

6.1 H08 モデルの空間基本情報の作成

前章の表 5-1 で述べた基本的な空間情報のうち、L 座標系を XY 座標系を変換するときに必要な2つのファイル(L2X と L2Y)を作成しよう。これに加えて、基本的な空間情報から一意に決まる、各格子の面積を表すファイルも作成しよう。このための、具体的な手順は以下に示す通りである。

表 6-1 ファイルの作成が必要な空間基本情報

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|----------|--|-------------------|----------------|
| L2X, L2Y | L to X, L to Y converter: L 座標 X 座標変換ファイル | map/dat/l2x_l2y_/ | - |
| GRDARA | Gridded area: 格子面積 | map/dat/grd_ara_/ | m ² |

1. map/pre/に移動する。
2. prep_basmap.sh の設定を確認する。
3. prep_basmap.sh を以下のようにして実行する。

```
% sh prep_basmap.sh
```

この結果、L 座標を X 座標と Y 座標にそれぞれ変換するためのファイル (l2x.hlf.txt と l2y.hlf.txt) が map/dat/l2x_l2y_/ディレクトリに出力される。また、各格子の面積情報を持ったファイル (grdara.hlf) が map/dat/grd_ara_/ディレクトリに出力される。

4. 同じように.one と.g15 (表 5.3) について設定を編集し、prep_basmap.sh を実行する (地理パラメータについては adm/sample.bashrc を参照のこと)

・コラム・1

●出力データの確認1:地図データの解析

上記の操作で得られた map/dat/grd_ara_/grdara.hlf は、前章で学んだ通り、H08 Format 2D 形式で記述されている。このファイルを解析してみよう。まず、grdara.hlf が正常に出力されたか見るために、ファイルサイズの確認をしよう。全球を1度でカバーする今回の場合、NL = 720 x 360 = 259200 である。一つの実数を記録するのに 4 byte 必要なので、ファイルの容量は 259200x4=1036800 byte となる。ls コマンドを使ってこうなっているか確認しよう。

続いて grdara.hlf の中身を確認しよう。H08 Format 形式で記述されたファイルは H08 Analysis Tools を使うことで容易に解析・図化することができる。H08 Analysis Tools の詳細は齊藤と花崎(2012)を参照されたい。ここで、H08 Analysis Tools はそのまま使うと引数の数がとても多いので、以下では紙面を節約するため、齊藤と花崎(2012)の Appendix A に示された H08 Analysis Tools の短縮入力を使って記述する(3.2 の H08 の環境設定が完了していたらこの通り動作するはずである)。さて、全てのセルの和、すなわち地球の表面積を知りたい場合は

```
% cd ${DIRH08}/map/pre/
% sumhlf ../../map/dat/grd_ara_/grdara.hlf
```

とする。その結果、 5.09×10^{14} が得られるだろう。面積の単位は m^2 であるため、計算された全球表面積は約 $5.09 \times 10^8 \text{ km}^2$ であることが分かる。各グリッドの中で最大面積(最小面積)を知りたい場合は、

```
% maxhlf ../../map/dat/grd_ara_/grdara.hlf
% minhlf ../../map/dat/grd_ara_/grdara.hlf
```

とすれば、それぞれ $3.08 \times 10^3 \text{ km}^2$ と 13.58 km^2 が得られる。さらに、世界地図が描きたければ、

```
% gmt makecpt -T0/4000000000/1000000000 -Z > temp.cpt
% hlf2eps ../../map/dat/grd_ara_/grdara.hlf temp.cpt temp.eps
% htconv temp.eps temp.tif rot
% display temp.tif
```

とすれば、図 6-1 のような図が容易に描ける。

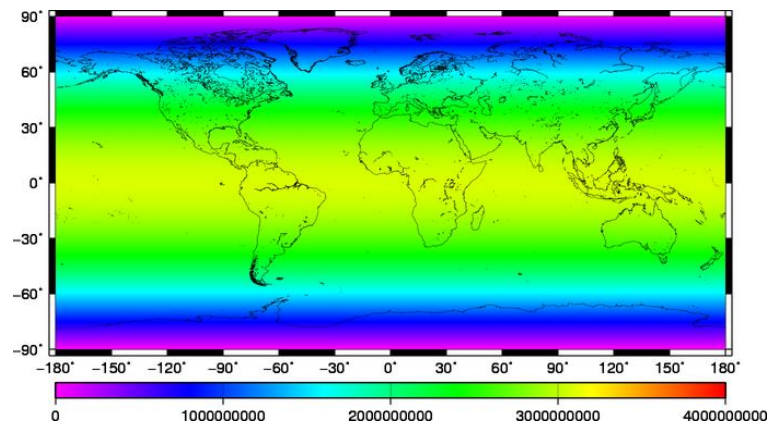


図 6-1 grdara.hlf を図化したもの [m^2]

6.2 陸面過程サブモデルを利用する時に必要な地図データの作成

陸面過程サブモデルを利用するには、表 6-2 に示す 2 つの地図データが必要である。そのために、以下に示す手順で作業を行う。

表 6-2 陸面過程サブモデルを利用するときに必要な地図データ

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|-----------------------------|-------------------|----------------|
| LNDMSK | Land sea mask: 海陸マスク | map/dat/lnd_msk_/ | - |
| LNDARA | Land area: 陸域面積 | map/dat/lnd_ara_/ | m ² |
| ALBEDO | Albedo: アルベド | map/dat/Albedo__ | - |
| SLPCLS | Slope class: 傾斜クラス | map/dat/slp_cls_ | - |
| GEOCLS | Geological class: 地質クラス | map/dat/geo_cls_ | - |
| PRMMSK | Permafrost mask: 永久凍土マスク | map/dat/prm_msk_ | - |
| SOITYP | Soil type: 土壌タイプ | map/dat/soi_typ_ | - |

1. H08 のウェブサイト (<https://h08.nies.go.jp/h08/>) のマニュアルページから、Data_Global_2018.yyyymmdd.tar.gz を取得する。
2. Tar.gz ファイルを解凍し、中に入っている全てのフォルダ (例: WFDEI/, AQUASTAT/ など) を map/org/ に置く。map/org/ というディレクトリがない場合は作成する。map/org/WFDEI というディレクトリができたことを確認する。
3. map/pre/ に移動する。
4. prep_lnd_WFDEI.sh の設定を確認し、実行する。WFDEI とは、海陸分布が WFDEI データに準拠していることを示す。
5. アルベドを作成するため、GSWP2_Albedo/ が map/org にあることを確認する。
6. prep_lnd_GSWP2_Albedo.sh の設定を確認し、実行する。利用するのは Global Soil Wetness Project Phase 2 で配布された全球 1 度のデータを内挿したアルベドデータである。1986～1995 年の月データを月平均したものである。
7. 傾斜データを準備するため、FAO2009_Slope/ が map/org にあることを確認する。利用するのは Food Agriculture Organization (FAO) の Harmonized World Soil Database v1.2 の傾斜データである。
8. prep_lnd_FAO2009_Slope.sh の設定を確認し、実行する。
9. 地質データを準備するため、OneGeology/ が map/org にあることを確認する。利用するのは One Geology の World CGMW 1:50M Geological Units Onshore の地質データである。

10. `prep_lnd_OneGeology.sh` の設定を確認し、実行する。
11. 永久凍土データを準備するため、`NSIDC/` が `map/org` にあることを確認する。利用するのは National Snow Ice Data Center の永久凍土データである。
12. `prep_lnd_NSIDC_mercator.sh` の設定を確認し、実行する。
13. 土壌タイプデータを準備するため、`GSWP3_SoilType/` が `map/org` にあることを確認する。利用するのは Global Soil Wetness Project Phase 3 の土壌タイプデータである。
14. `prep_lnd_GSWP3_Soiltype.sh` の設定を確認し、実行する。土壌 ID と土壌タイプの対応表は `map/dat/soi_typ_` に生成される。

この結果、まず、空間領域を陸域と海域に分けたファイル (`lndmsk.WFDEI.hlf`) が `map/dat/lnd_msk_` ディレクトリに出力される。これを `htdraw` (短縮形では `hlf2eps`) で図化したのが図 6-2 である。このように、陸域の格子は 1 に、海域の格子は 0 が入っている。これを見ると、南極は海域として扱われていることが分かる。

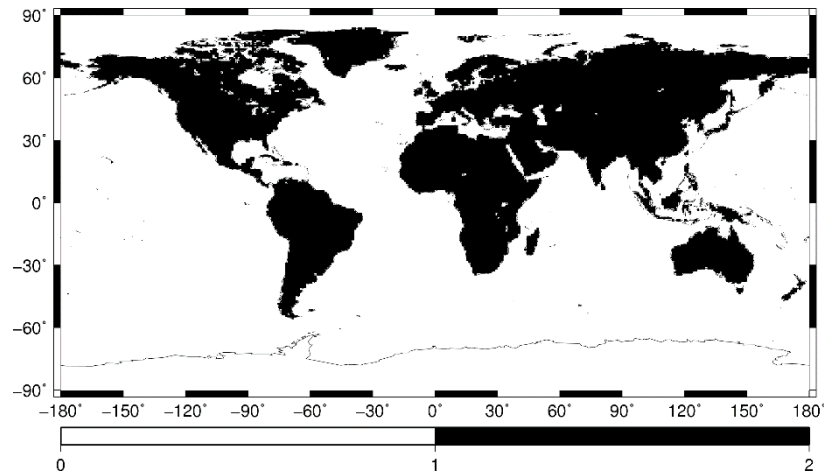


図 6-2 海陸マスク。陸域は 1、海域は 0 を示す。

また陸域面積を格納したファイル (`lndara.WFDEI.hlf`) が `map/dat/lnd_ara_` ディレクトリに出力される。これを図化したのが図 6-3 である。但し海域のグリッドには欠測値 (10^{20}) が入っている。

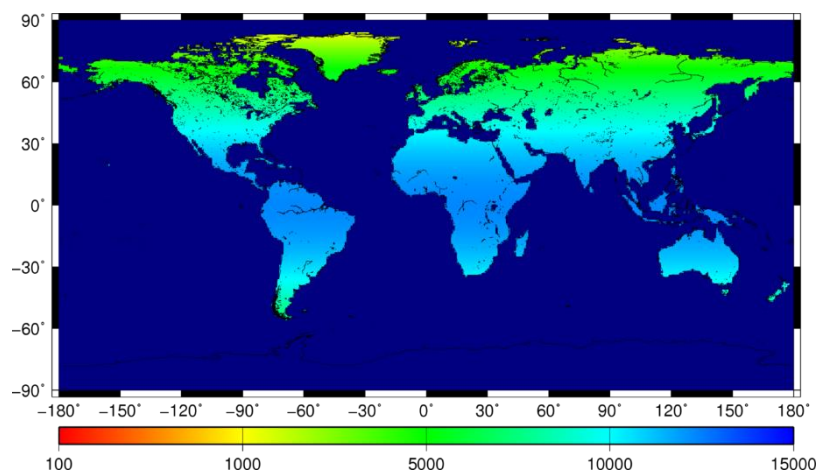


図 6-3 陸域の面積 [km²]

6.3 河川サブモデルを利用するときに必要な地図データの作成

河川サブモデルを利用する時には表 6-3 に示す 4 つの地図データが必要である。そのために、以下に示す手順で作業を行う。

表 6-3 河川サブモデルを利用するときに必要な地図データ

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|--|-------------------|----|
| FLWDIR | Flow direction: 河道流下方向 | map/dat/flw_dir_/ | - |
| RIVSEQ | River Sequence: 河道流下順 | map/out/riv_seq_/ | - |
| RIVNXL | The next downstream cell's L coordinate: 下流セルのL座標 | map/out/riv_nxl_/ | - |
| RIVNXD | Distance to the next downstream cell: 下流セルまでの距離 | map/out/riv_nxd_/ | m |

表 6-4 河川サブモデルを利用するときに便利な地図データ

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|------------------------|-------------------|----------------|
| RIVARA | Catchment area 流域面積 | map/out/riv_ara_/ | m ² |
| RIVNUM | River ID 流域 ID | map/out/riv_num_/ | - |

1. map/pre/に移動する。
2. prep_riv_WFDEI.sh を編集し、実行する。

この結果、河道流下方向ファイル (flwdir.WFDEI.hlf) が map/dat/flw_dir_ディレクトリに出力される。このファイルは、図 6-4 に示すように、各セルの河道の流下方向を 0 から 9 の数字で示す。1 から 8 は北から北西まで 45° 刻みで流下の方位を示す。0 と 9 は特別な数字で、0 はそのセルが海域であることを示し、9 は河口であることを示す。続いて、

3. map/bin に移動する。
4. main_riv.sh の設定を確認し、実行する。

この結果、まず、河道流下順ファイル (rivseq.WFDEI.hlf) が map/out/riv_seq_/ディレクトリに出力される。このファイルは、源流セルを 1 として、その下流を 2、その下流を 3 と、下流へセルが進むごとに 1 ずつ加えたファイルである。次に、下流セルの L 座標ファイル (rivnxl.WFDEI.hlf) が map/out/riv_nxl_/ディレクトリに出力される。このファイルは、あるセルの直下流のセルの L 座標を示すものである。最後に、下流セルまでの距離ファイル (rivnxd.WFDEI.hlf) が map/out/riv_nxd_/ディレクトリに出力される。これは文字通り、直下流のセルまでの距離（上流

セルの中心と下流セルの中心までの直線距離)を示したものである。

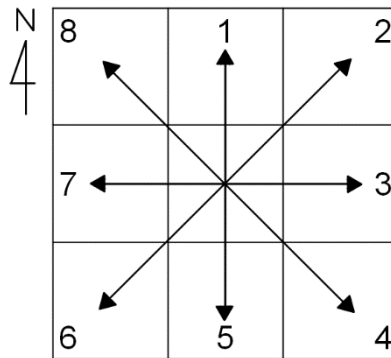


図 6-4 河道流下方向。方向は 0 から 9 までの整数値で表され、0 はそのセルが
海域であることを、9 は河口であることを表す。窪地はない。

この他に、河川サブモデルの実行に必須ではないが、表 6-4 にある解析に有用な 2 つのファイルも同時に作成される。まず、map/out/riv_ara_ディレクトリに出力される流域面積ファイル (rivara.WFDEL.hlf) はその地点より上流の河川の流域面積を示す。源流セルの場合は、そのセルの面積である。次に、map/out/riv_num_ディレクトリに出力される流域番号ファイル (rivnum.WFDEL.hlf) は流域固有の ID であり、流域面積が大きい順に割り振られる。よって、全球版の場合、アマゾン川が 1、コンゴ川が 2、ミシシッピ川が 3 となる。

表 6-5 世界の主な流域

| ID | Name | ID | Name |
|----|-------------|----|-----------------------------|
| 1 | Amazon | 11 | Niger |
| 2 | Congo | 12 | Mackenzie |
| 3 | Mississippi | 13 | Ganges-Brahmaputra |
| 4 | Nile | 14 | Lake Chad (the Chari River) |
| 5 | Parana | 15 | Volga |
| 6 | Yenisei | 16 | Zambezi |
| 7 | Ob | 17 | Nelson |
| 8 | Lena | 18 | Lake Eyre |
| 9 | Yangtze | 19 | Murray Darling |
| 10 | Amur | 20 | St Lawrence |

6.4 国境・人口情報の作成

水資源を評価する上で、国境や人口の情報は不可欠である。基本的な地理情報として、表 6-6 に示すファイルが必要である。そのために、以下に示す手順で作業を行う。

表 6-6 基本的な地理情報

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|-----------------------|-------------------|----|
| NATMSK | Nation mask: 国マスク | map/dat/nat_msk_/ | - |
| NATCOD | Nation code: 国コード | map/dat/nat_cod_/ | - |
| POPTOT | Total population: 総人口 | map/dat/pop_tot_/ | - |

1. map/org に C05/ があることを確認する。
2. map/pre/rep_map_C05_nat.sh の設定を確認し、実行する。
3. この結果、国マスクと国リストがそれぞれ map/dat/nat_msk_ と map/dat/nat_cod_ に出力される。
4. map/pre/rep_map_C05_pop.sh の設定を確認し、実行する。
5. この結果、総人口が map/dat/pop_tot_ に出力される。

6.5 作物成長サブモデルのための地図情報の作成

作物成長サブモデルを利用するには表 6-7 に示す 5 種類のファイルが必要である。そのために、以下に示す手順で作業を行う。

表 6-7 作物成長サブモデルを利用するときに必要な地図データ

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|-----------------------------|-------------------|----------------|
| IRGARA | Irrigated area: 灌漑農地面積 | map/dat/irg_ara_/ | m ² |
| CRPINT | Cropping intensity: 耕作回数 | map/dat/crp_int_/ | - |
| IRGEFF | Irrigation efficiency: 灌漑効率 | map/dat/irg_eff_/ | - |
| CRPARA | Cropland area: 農地面積 | map/dat/crp_ara_/ | m ² |
| HVSARA | Crop type: 作物種別の収穫面積 | map/dat/hvs_ara_/ | m ² |

1. Map/org に DS02/、R08/、M08/、S05/ があることを確認する。
2. map/pre/ に移動する。
3. prep_crp_R08M08S05.sh の設定を確認し、実行する。

これによって、Ramankutty et al. (2008)の農地面積、Monfreda et al. (2008)の栽培種別の収穫面積、Siebert et al. (2005)の灌漑地面積がそれぞれ、map/dat/crp_ara_、map/dat/pas_ara_、map/dat/hvs_ara_、map/dat/irg_ara_ に出力される。

4. prep_crp_DS02.sh の設定を確認し、実行する。

これによって、Döll and Siebert (2002)による灌漑農地面積、耕作回数、灌漑効率がそれぞれ、

map/dat/irg_ara_、map/dat/crp_int_、map/dat/irg_eff_に出力される。

5. map/bin に移動する。
6. calc_crptyp.sh の設定を確認し、実行する。

この結果、Monfreda et al. (2008)の栽培種データを利用し、1番目と2番目に作付けの多い品種のデータがそれぞれ map/out/crp_typ1、map/out/crp_typ2 に出力される。

7. calc_crpfrc.sh の設定を確認し、実行する。

この結果、(1)2期作灌漑、(2)1期作灌漑、(3)天水農地、(4)その他について、1グリッド内の面積割合ファイルがそれぞれ、map/out/irg_frcd、map/out/irg_frcs、map/out/rfd_frc_、map/out/non_frc_に出力される。

6.6 貯水池サブモデルのための地図情報の作成

貯水池サブモデルを利用する際には表 6-8 に示す5つのファイルが必要である。また、データの特徴を理解するためには、表 6-9 に示す6つのファイルも有用である。そのために、以下に示す手順で作業を行う。

表 6-8 貯水池サブモデルに不可欠な5つのファイル

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|---|-------------------|----------------|
| DAMCAP | Reservoir capacity: 貯水池の貯水容量 | map/dat/dam_cap_/ | kg |
| DAMID_ | Reservoir ID: 貯水池の ID | map/dat/dam_id_/ | - |
| DAMPRP | Primary purpose of reservoir: 貯水池の主目的 | map/dat/dam_prp_/ | - |
| DAMSRF | Surface area of reservoir: 貯水池の湖面積 | map/dat/dam_srf_/ | m ² |
| DAMALC | Water demand allocation for each reservoir: 各貯水池への水需要割り当て | map/out/dam_alc_/ | - |

表 6-9 貯水池サブモデルに関する6つのファイル

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|---|-------------------|----|
| DAMNUM | Number of reservoirs in a grid cell: 貯水池の数 | map/dat/dam_num_/ | - |
| DAMYR_ | Reservoir constructed year: 貯水池建設年 | map/dat/dam_yr_/ | - |

| | | | |
|--------|--|-------------------|----|
| DAMD2D | Reservoir governing area 1 (dam to dam): | map/out/dam_d2d/ | - |
| | 各貯水池の支配領域 | | |
| DAMD2S | Reservoir governing area 2 (dam to sea): | map/out/dam_d2s/ | - |
| | 各貯水池の支配領域 | | |
| DAMUP_ | Reservoir number in upper stream: | map/out/dam_up_/ | - |
| | 各地点の上流にある貯水池数の総和 | | |
| DAMUPC | Reservoir capacity in upper stream: | map/out/dam_upc_/ | kg |
| | 各地点の上流にある貯水容量の総和 | | |

1. 第9章までの内容を実施し、河川流量の計算を終わらせておく。
2. Map/org に GRanD/ があることを確認する。
3. map/pre/に移動する。
4. prep_dam_GRanD.sh の設定を確認し、実行する。

この結果、map/org/GRanD にある貯水池の位置情報（テキストデータで、貯水池 ID、貯水容量、貯水池目的、貯水池湖面積の情報などが含まれる）が H08 Format 2D 形式に変換される。

5. map/bin に移動する。
6. main_dam.sh の設定を確認し、実行する。

DAMDBG（デバッグするダム ID）は有効な数字（領域に含まれるダムの ID）を設定すること。ここで、貯水池操作において何年の流量を利用するかを指定することができる。ある計算期間の平均流量を設定することもできる。riv/pst/calc_mean.sh を使うと平均流量の計算ができる。この結果、いくつかの貯水池情報が作成される。まず、各貯水池への水需要割り当てファイル (*.hlf) が map/out/dam_alc_ に作成される。逆に言うと、各セルの水需要が上流のどの貯水池に割り当てられるかとも言える。次に、貯水池の支配領域ファイル (*.hlf) が map/out/dam_d2d_ および map/out/dam_d2s_ に作成される。前者は、ある貯水池がその水需要を考慮するセルを示したファイルであり、後者は、河口までのセルを示したファイルである。最後に各地点の上流にある貯水池数の総和を示したファイルが map/out/dam_up_ に、それらの総貯水容量の総和を示したファイルが map/out/dam_upc_ に作成される。

6.7 取水サブモデルのための地図情報の作成

工業用水と生活用水の取水を考慮するには表 6-10 に示す 20 個のファイルが必要である。そのために、以下に示す手順で作業を行う。

表 6-10 取水サブモデルに不可欠な2つのファイル

| シェル変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|---------------------------|------------------|------|
| DEMAGR | Agricultural water demand | Ind/out/DemAgr_/ | kg/s |

| | | | |
|----------|---|-------------------|--------------------|
| | 農業用水需要 | | |
| DEMIND | Industrial water demand: | map/dat/dem_ind_/ | kg/s |
| | 工業用水需要 | | |
| DEMDOM | Domestic water demand: | map/dat/dem_dom_/ | kg/s |
| | 生活用水需要 | | |
| WITAGR | Agricultural water withdrawal: | map/dat/wit_agr_/ | kg/s |
| | 農業用水取水量 | | |
| WITIND | Industrial water withdrawal: | map/dat/wit_ind_/ | kg/s |
| | 工業用水取水量 | | |
| WITDOM | Domestic water withdrawal: | map/dat/wit_dom_/ | kg/s |
| | 生活用水取水量 | | |
| FRCGWAGR | GW fraction for agricultural water | map/dat/frc_gwa_ | - |
| FRCGWIND | GW fraction for industrial water | map/dat/frc_gwi_ | - |
| FRCGWDOM | GW fraction for domestic water | map/dat/frc_gwd_ | - |
| AEI | Area equipped for irrigation | map/dat/aei_____ | m ² |
| AEIG | Area equipped for groundwater irrigation | map/dat/aeig_____ | m ² |
| AEIS | Area equipped for surface water irrigation | map/dat/aeis_____ | m ² |
| SUPAGRGT | Total groundwater abstraction for agricultural sector | map/dat/SupAgrGT | kg s ⁻¹ |
| SUPINDGT | Total groundwater abstraction for industrial sector | map/dat/SupIndGT | kg s ⁻¹ |
| SUPDOMGT | Total groundwater abstraction for domestic sector | map/dat/SupDomGT | kg s ⁻¹ |
| FRCGWA | Fraction of groundwater to total water demand in the agricultural sector | map/dat/frc_gwa_ | - |
| FRCGWI | Fraction of groundwater to total water demand in the industrial sector | map/dat/frc_gwi_ | - |
| FRCGWD | Fraction of groundwater to total water demand in the domestic sector | map/dat/frc_gwd_ | - |
| CANORG | Origin (Source) of aqueducts | | |
| CANDES | Destination (Receipant) of aqueducts | | |

1. map/org に AQUASTAT/ があることを確認する。
2. map/pre/に移動する。
3. prep_map_AQUASTAT.sh を編集し、実行する。この結果、工業用水と生活用水の取水量と消費量が用意される。
4. map/org に GMIA5/ があることを確認する。
5. prep_map_GMIA5.sh の設定を確認し、実行する。この結果、水源別の灌漑地情報が用意され

る。

6. `prep_map_GMIA5_aux.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、水源別の灌漑地の補助的情報が用意される。
7. `map/org` に `IGRAC/` があることを確認する。
8. `prep_map_IGRAC.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、農業・工業・生活用水がそれぞれ地下水にどれだけ依存しているかを示した情報が用意される。
9. `prep_map_frcgw_doll.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、総水需要に対する地下水の割合が生成される。
10. `map/org` に `K14/` があることを確認する。
11. `prep_map_lcan.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、世界の「暗黙的」運河網 (implicit aqueduct) の地図が作成される (Hanasaki et al. 2018)。すなわち、標高から示唆される導水の経路で、実際に排水路があるか確認されたわけではない。
12. `prep_map_K14.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、世界の「明示的」運河網 (explicit aqueduct) の地図が作成される (Hanasaki et al. 2018)。すなわち、北村ら(2014)によって特定・確認された世界の運河網の地図が作成される。また、暗黙的・明示的運河網を合わせた運河網地図も同時に作成される。
13. `map/org` に `IIASA_SSP/` があることを確認する。
14. `prep_map_IIASA_SSP.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、Shared Socioeconomic Pathways による GDP と一人当たり GDP データが作成される。
15. `map/org` に `MISC_Maps/` があることを確認する。
16. `prep_map_cstlin.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、海水淡水化モデリングに必要な世界の海岸線データが生成される。
17. 第8章、および、第10章 10.3 までの内容を実施し、降水量と可能蒸発散量の計算を終わらせておく。
18. `prep_map_despot.sh` の設定を確認し、実行する。この結果、海水淡水化を利用している地域データ (AUSD; Hanasaki et al. 2016) が生成される。

●シェルスクリプトの編集

H08_20111130 版からは、全てのシェルスクリプトは4つに分けられた。

1. ヘッダー
2. 誰でも編集できる（すべきである）設定項目
3. 上級者だけが編集できる（すべきである）設定項目
4. ジョブ

の4つである。ヘッダーについては、利用者は全く編集する必要がない。ただし、大きくスクリプトを変更したとき、メモをここに加えておくと良いかもしれない。誰でも編集できる設定項目には **Basic Settings**, **Geographical Settings** などがある。利用者が計算領域や空間解像度などの設定を変えて H08 を実行したい場合はここを編集する。ちなみに、H08_20111130 版以降は配布状態で、シェルスクリプトを1文字も編集することなく、第1～13章を実施することができるようになっている（いくつか例外もある）。上級者だけが編集できる設定項目には **Output**, **Output Directory**, **Macro** などがある。この部分は編集することで、出力するディレクトリやファイル名、パラメータ設定などを変更できるが、H08 をよく理解していない限り、触れないほうがよい。ジョブについては上級者だけが改変すべきである。無駄やバグはほとんどないはずで、編集すると H08 が動作しなくなる危険性が非常に高い。

第7章

気象データ

H08 の入力データは地図データと気象データであるが、この章では気象データについて学ぼう。

7.1 気象データ

表 7-1 は H08 の計算に必要な変数（8つの気象変数）を示している。ここで、変数の略称、変数の名前、単位、正負の向きは ALMA 規約 version3¹⁰に準拠したものである。これら8つの変数を全て含む、地球全体をカバーする気象データがこれまでにいくつか開発されているが、この冊子では、WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data (WFDEI; Weedon et al., 2014)の開発した全球気象データについて述べる。

表 7-1 気象データ

| 変数 | 説明 | ディレクトリ | 単位 |
|--------|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| PSurf | Surface pressure: 地表面気圧 | met/dat/PSurf__ | Pa |
| Rainf | Rainfall rate: 降雨強度 | met/dat/Rainf__ | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| Snowf | Snow fall rate: 降雪強度 | met/dat/Snowf__ | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| Wind | Wind speed: 地表面付近の風速 | met/dat/Wind__ | m s ⁻¹ |
| LWdown | Longwave downward radiation: 下向き長波放射 | met/dat/LWdown__ | W m ⁻² |
| Qair | Specific humidity: 地表面付近の比湿 | met/dat/Qair__ | kg kg ⁻¹ |
| SWdown | Shortwave downward radiation: 下向き短波放射 | met/dat/SWdown__ | W m ⁻² |
| Tair | Air temperature: 地表面付近の気温 | met/dat/Tair__ | K |

7.2 気象データの準備方法

本節では WFDEI の気象データを H08 で使う準備をする。気象データを準備する方法は2通りある。一つ目は論文のウェブサイトから NetCDF 形式で配布されているファイルを H08 Format 形式に変換する方法、二つ目は A-PLAT Pro から NetCDF 形式のファイルをダウンロードする方法であり、どちらでも全く同じ結果になる。準備は以下の手順により行う。

1. met/pre/に移動する。
2. 一つ目の方法を選択する場合、WFDEI の論文のウェブサイト¹¹をよく読んでデータをダウンロードし、met/org/WFDEI/daily に保存し、prep_WFDEI.sh を編集し、実行する。
二つ目の方法を選択する場合、A-PLAT Pro (<https://ccca-scenario.nies.go.jp/>) の Historical データに格納されている WFDEI データを、表 7-2 の通りにダウンロードし、prep_wfdei_DataServer.sh を編集し、実行する。
3. prep_mean.sh の設定を確認し、実行する。これにより、YEARMIN と YEARMAX で指定した

¹⁰ http://web.lmd.jussieu.fr/~polcher/ALMA/convention_3.html

¹¹ <https://doi.org/10.1002/2014WR015638>

期間の平均値が計算される。

4. `prep_Prcp.sh` の設定を確認し、実行する。これにより、降雨量 (Rainf) と降雪量 (Snowf) を合計した降水量 (Prcp) が計算される。

この結果、気象データとアルベドデータが `met/dat` ディレクトリに出力される。サブディレクトリは表 7-1 を参照のこと。

表 7-2 取得するデータ

| Options | Settings |
|------------|--|
| データセット | WATCH-Forcing-Data-ERA-Interim/wfde (standard) |
| 時間解像度 | Daily |
| 変数 | rlds, huss, prrn, prsn, tas, ps, rsds, sfcWind |
| 年 | 1979-1979 |
| 空間ドメイン | オリジナルの空間ドメイン |
| マスク | 使用しない(空欄) |
| 期間平均 | 算出しない |
| ファイルフォーマット | NetCDF |
| 圧縮 | gzip による圧縮 |

7.3 応用的な気象データの準備方法

本節では WFDEI の気象データを H08 で使う準備をする。具体的には NetCDF 形式で配布されているファイルを H08 Format 形式に変換するのが主な作業であり、以下の手順により行う。

5. `met/pst/` に移動する。
6. `calc_koppen.sh` の設定を確認し、実行する。

この結果、ケッペンの気候区分が `met/out./Koppen__` ディレクトリに出力される。

・コラム・3

●出力データの確認2:時系列データの解析

7章2節の操作により、met/dat/Tair_____に気温データが作成できたはずである。このデータを確認しよう。このデータは3時間単位のデータである。東京のデータ(E139.75, N35.75)を取得したい場合は、

```
% cd met/dat/Tair_____
% punchhlf lonlat ./wfde_____.hlfDY 1979 1979 139.75 35.75
```

とする。すると、日単位の時系列データが画面に出力されるだろう。WFDEI の入力データの特徴を把握するため、観測データと比べてみるとよいだろう。では、このデータを月単位に変換してみよう。このためには、まず H08 Format 2D 形式の日データを月データに変換し、その後、上と同様に1地点データを抜き出すことにしよう。その手順を示すと次のようになる。

```
% mon2yearhlf ./wfde_____.hlfDY 1979 1979 ./WFDEI_____.hlfMO
% punchhlf lonlat ./wfde_____.hlfMO 1979 1979 139.75 35.75
```

大規模なモデルを使って研究を行う場合、入出力データは徹底的に吟味しなければならない。そのために使うソフトウェアは何でもよいが、まずは齊藤と花崎(2012)を読んで H08 Analysis Tools に習熟してほしい。H08 専用のデータ解析ツールであり、最も効率よく、最も重要な解析ができるように設計されているからである。その後は、必要に応じて H08 Analysis Tools のソースコードを改良し、より詳細な解析に移ってほしい。

第8章

陸面過程サブモデル

この章では H08 のサブモデルの中で最も重要な陸面過程サブモデルについて仕組みと操作方法を学ぼう。

8.1 陸面過程サブモデルの仕組み

H08 の陸面過程サブモデルは Robock et al. (1995) に記述された標準的な Bucket モデルを原型としているが、大きく 3 点において異なる。第一に、地表面温度について強制復元法 (Bhumralkar, 1975) が導入されたことである¹²。第二に、中間流出(subsurface runoff)が導入されたことである。第三に、Döll and Fiedler (2009) の定式化による地下水涵養 (groundwater recharge) が導入されたことである。詳細な数式と理論的背景が知りたい場合は、Hanasaki et al. (2008a; 2018) を参照してほしい。

H08 の陸面過程サブモデルの模式図を図 8-1 に示す。説明の便宜上、以下では水収支 (図の左側) と熱収支 (図の右側) に分けて説明を行う。まず、水収支の観点からいうと、陸面過程サブモデルは 1 層の表層土壌を持つ Bucket モデルである。ただし、Manabe(1969) のオリジナルの Bucket モデルと異なり、土壌水分量に応じて中間流出が常時発生する。このタイプの Bucket モデルは Leaky bucket モデルと呼ばれることもある。また、Döll and Fiedler (2009) のモデルに従い、流出量の一部が地下水涵養量となる。涵養量は 1 層の地下水層に貯留される。ここから基底流 (baseflow) が流出する。地下水層から表層土壌への水分の移動 (capillary rise) は無視する。さらに、地下水層にある水量を越えた取水を行う場合、ほとんど涵養されない深層の地下水から取水するものとする。この地下水は無尽蔵にあるものと仮定する。水収支に関する状態量は土壌水分量(SoilMoist)、積雪水当量(SWE)、地下水量(GW)の 3 つである。降水量(Prcp)の入力に対し、地表面の水収支と熱収支に基づいて蒸発量(Evap)と総流出量(Qtot)などのフラックスが計算され、土壌水分量と積雪水当量、地下水量が更新される。

次に、熱収支の観点から言うと、陸面過程サブモデルは薄い地表面の熱収支を解くモデルである。熱収支に関する状態量は地表面温度(AvgSurfT)と土壌温度(SoilTemp)の 2 つである。6 つの気象変数 (表 7.1)、すなわち、下向き短波放射(SWdown)、下向き長波放射(LWdown)、気温(Tair)、比湿(Qair)あるいは相対湿度(RH)、風速(Wind)、気圧(PSurf)の入力に対し、地表面の熱収支が閉じる唯一の地表面温度が計算され、顕熱(Qh)、潜熱(Qle)、地中熱流量(Qg)、上向き短波(SWup)、上向き長波(LWup)などのフラックスが求まり、地表面温度と土壌温度が更新される。地表面熱収支については、近藤(1994, 2000)を参照してほしい。

¹² H08 は日単位での計算が推奨されるが、日単位未満 (3 ~ 6 時間単位) での計算も可能である。日中に非現実的な地表面温度(AvgSurfT)とならないように、強制復元法が導入されている。強制復元法については、池淵ら (2006) に数式の展開を含めた詳細な解説があるので参照してほしい。

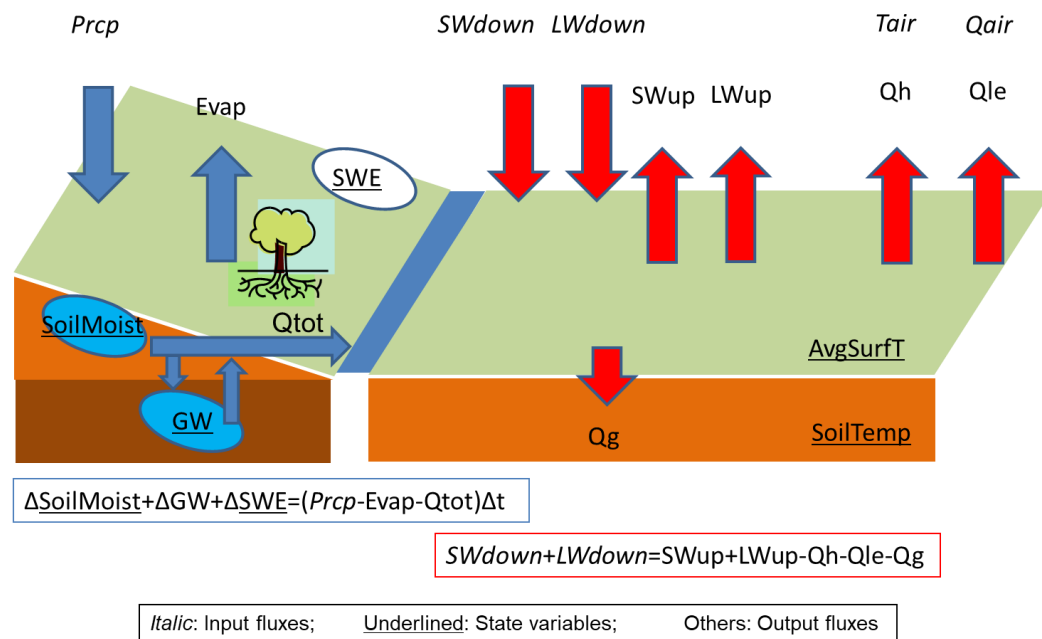


図 8-1 陸面過程サブモデルの模式図

8.2 陸面過程サブモデルの計算過程

陸面過程サブモデル(lnd/bin/main.f)の計算過程を示す。

- 1 計算設定を定義した namelist のファイル名を読み込む
- 2 namelist を読む
- 3 地図データを読む
- 4 4つの状態量変数を初期化する
- 5 時間ループを開始する (スピンアップモード)
 - 5.1 計算期間のうち、計算開始年だけを繰り返すよう設定する¹³。
 - 5.2 8つの気象データを読む
 - 5.3 calc_leakyb サブルーチンを呼ぶ
 - 5.4 状態量を出力する
 - 5.5 フラックスを出力する
 - 5.6 状態量の値を保存する
- 6 ループを終了する。
- 7 スピンアップ終了条件を満たしているか判断する。すなわち、全セル(NL)のうち SPNRAT×NL 以上のセルにおいて、状態量が、前回のスピンアップと比べて、SPNERR 以下の割合しか変化していない場合、スピンアップが終了したとみなす。この条件を満たさない場合、5に戻る¹⁴。
- 8 時間ループを開始する (本計算モード)
 - 8.1 計算期間を計算開始年から計算終了年まで設定する。
 - 8.2 8つの気象データを読む

¹³ 計算期間が 1986-1995 年の場合、1986 年の計算だけを繰り返すということ。

¹⁴ SPNRAT と SPNERR の組み合わせによっては永遠にスピンアップが終わらないこともあるので注意。

- 8.3 calc_leakyb サブルーチンを呼ぶ
- 8.4 状態量を出力する
- 8.5 フラックスを出力する
- 8.6 状態量の1時間ステップ前の値を保存する
- 9 ループを終了する。
- 10 計算中に水収支異常、熱収支異常、収束不可能が起きた地点と回数を出力する。

8.3 陸面過程サブモデルの実行1:前処理

陸面過程サブモデルを実行にするために、パラメータと状態量の初期値が必要である。ここで、空間的に一様な暫定的な初期値とパラメータのファイルを作成する方法を示す。

1. lnd/pre/に移動する。
2. prep.sh を編集する。表 8-1 のパラメータと表 8-2 の状態量の初期値について値を設定する。例えば、土壌水分量の初期値ファイルを設定するには SOILMOISTINI に関するシェル変数 VAL に具体的な数字を設定する。ここでは全球一律の値が与えられているが、自由に編集することが可能である。
3. prep.sh を実行する。この結果、lnd/dat にパラメータが、lnd/ini に状態量の初期値が出力される。
4. prep_gamtau.sh を編集する。
5. prep_gamtau.sh を実行する。この結果、形状パラメータ γ と時定数 τ が Köppen の気候区分に応じて設定される（詳細は Hanasaki et al. 2008a を参照のこと）。
6. prep_gwr.sh を編集する。
7. prep_gwr.sh を実行する。この結果、地下水涵養に関するパラメータ fr, ft, fa, fg, fp が出力される（詳細は Hanasaki et al. 2018 を参照のこと）。

表 8-1 モデルパラメータに関するシェル変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|-----------|---|------------------------------------|
| SOILDEPTH | Soilt depth: 土壌の深さ | m |
| FIELD CAP | Field capacity: 圃場容水量 | - |
| WILT | Wilting point: しおれ点 | - |
| CG | Effective heat capacity of soil: 土壌の有効熱容量 | J K ⁻¹ m ² |
| CD | Bulk transfer coefficient: バルク輸送係数 | - |
| GAMMA | Parameter gamma: 中間流出に関する形状パラメータ | - |
| TAU | Parameter tau: 中間流出に関する時定数パラメータ | Day |
| FR | Relief-related factor: 傾斜係数 | - |
| FT | Soil-texture-related factor: 土壌係数 | - |
| FA | Hydrogeology-related factor: 水文地質係数 | - |
| FP | Permafrost/glacier-related factor: 永久凍土係数 | - |
| FG | Aggregated factor (FR*FT*FA*FP): 統合係数 | - |
| RGMAX | Maximum groundwater recharge: 最大涵養量 | Kg m ⁻² s ⁻¹ |

表 8-2 状態量に関する変数の一覧¹⁵。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|-----------|------------------------------------|--------------------|
| SOILMOIST | Soil moisture: 土壌水分量 | kg m ⁻² |
| SOILTEMP | Soil temperature: 土壌温度 | K |
| SWE | Snow water equivalent: 積雪水当量 | kg m ⁻² |
| AVGSURFT | Average surface temperature: 地表面温度 | K |

¹⁵ 変数名の先頭に DIR がつく場合はディレクトリを、末尾に INI がつく場合は初期値ファイルであることを示す。何もつかない場合は出力ファイルである。

8.4 陸面過程サブモデルの実行方法2:本計算

前節までで陸面過程サブモデルの実行に必要な全てのファイルが揃ったはずである。陸面過程サブモデルの実行は以下のとおりである。

1. lnd/bin/に移動する。
2. main.sh を編集する¹⁶。表 8-3 から表 8-7 までに示すシェル変数をすべて設定する。ここで、QTOT と POTEVAP と EVAP は必ず日毎に出力すること。これらの変数は、それぞれ第9章と第10章で使う。
3. main.sh を実行する¹⁷。この時メインプログラム (main.f) はバックグラウンドで実行される。ログファイルが../logに作成され、シミュレーション実行中、ログがそこに追い書きされる。そのため、ユーザは

```
% tail -f $LOGFILE
```

などのコマンドを使うことによって、シミュレーションの経過を確認することができる。

シミュレーション結果はlnd/outに出力される。lnd/out直下にモデル出力の要素に対応したディレクトリが作成され、ALMA 規約のバージョン3に準拠して記述される。

表 8-3 計算条件に関するシェル変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|---------|--|-----|
| PRJ | Project:プロジェクト名。 必ず 4 文字にすること。出力ファイル名に利用される。 | - |
| RUN | Run:実験名。 必ず 4 文字にすること。出力ファイル名に利用される。 | - |
| YEARMIN | Minimum year:計算開始年。 | - |
| YEARMAX | Maximum year: 計算終了年。 | - |
| SECINT | Interval in second: 計算時間間隔。 | sec |
| LDBG | Debugging point in the l coordinate: デバッグモードで計算結果を書きだすセルの L 座標。 | - |
| SPNFLG | Flag of spinup: スピンアップに関するフラグ。スピンアップが終了している場合は 1、終了していない場合は 0 となる。0 としておくと、初期値ファイルを状態量の初期値としてスピンアップモードから計算を開始する。1 としてお | - |

¹⁶ 空間解像度 0.5 で全球を計算する場合、①PRJ を GSW2 から WFDE に変更すること、②LDBG を L (今回の場合 259200) 以下の数にすること、③入力データを GSWP2B1b から WFD_____に変更すること、④BALBEDO の最後の 2 文字を MO (monthly, year は可変)から MM (mean monthly, year は 0000 で固定)に変更することなどに特に注意が必要である。

¹⁷ H08 は任意の空間領域、空間解像度で動作するように設計されている。しかし、現時点で main プログラムだけはその限りではない。すなわち、main.f の冒頭部を見ると、配列の大きさを表す変数 n01 が定数として与えられているのが分かるだろう。空間領域や空間解像度を変えて H08 を実行する際は、この部分を修正し、再コンパイルする必要がある。

| | | |
|---------|--|----------------------|
| | くと、初期値ファイルを状態量の初期値として、スピナ ップを行わずに、本計算モードで計算を開始する。 | |
| SPNERR | Spinup error tolerance: ある年の最後の時間ステップ の状態量について、前年値との差がこの割合より小さけ れば、その格子のスピナップは終了していると判定す る。 | - |
| SPNRAT | Spinup ratio: 全格子のうち、この割合よりも多くの格子 でスピナップが終了した場合、スピナップを終了。 | - |
| ENGBALC | Energy balance error tolerance: 放射収支の許容誤 差。 | W |
| WATBALC | Water balance error tolerance: 水収支の許容誤差。 | mm day ⁻¹ |
| CNTC | Counter: 収束計算の最大繰り返し回数。上記2つの許 容誤差を計算する際の最大繰り返し回数を指定する。 十分に収束しなかった場合、ログに情報を出力し、シミュ レーションを続行する。 | - |
| PROG | Program: プログラム名。 | - |

表 8-4 入力気象データに関する変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------|---|------------------------------------|
| WIND | Wind: 地表面付近の風速 | m s ⁻¹ |
| RAINF | Rainfall rate: 降雨フラックス | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| SNOWF | Snowfall rate: 降雪フラックス | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| TAIR | Air temperature: 地表面の気温 | K |
| QAIR | Specific humidity: 地表面付近の比湿。比湿か相対湿 度のどちらか1つだけを設定する。両方とも有効にしな い。 | kg kg ⁻¹ |
| RH | Relative humidity: 相対湿度。比湿か相対湿度のどちら か1つだけを設定する。両方とも有効にしない。 | - |
| PSURF | Surface pressure: 地表面付近の気圧 | Pa |
| SWDOWN | Downward shortwave radiation: 地表面の短波放射強 度 | W m ⁻² |
| LWDOWN | Downward longwave radiation: 地表面の長波放射強 度 | W m ⁻² |

表 8-5 簡易温暖化実験のための変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|---------|-----------------------------------|-------------------|
| TCOR | Air temperature correction: 気温の修正 | K |
| PCOR | Precipitation correction: 降水の修正率 | - |
| LCOR | Longwave correction: 長波放射の修正量 | W m ⁻² |
| TAIROUT | Corrected air temperature: 修正後の気温 | K |

| | | |
|-----------|---|---------------------|
| RAINFOUT | Corrected rainfall rate: 修正後の降雨量 | kg kg ⁻¹ |
| SNOWFOUT | Corrected snowfall rate: 修正後の降雪量 | Pa |
| LWDOWNOUT | Corrected downward longwave radiation: 修正後の 長波放射 | W m ⁻² |

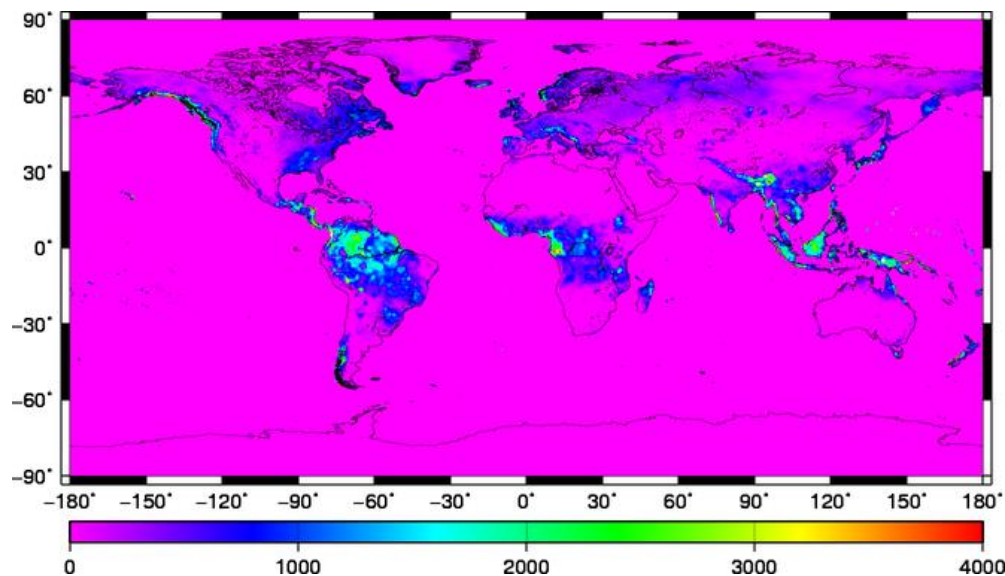
表 8-6 入力地図データに関する変数の一覧。

| 変数名 | 説明 | 単位 |
|---------|-----------------------------|----|
| LNDMSK | Land mask: 陸域マスクファイル | - |
| BALBEDO | Base snow-free albedo: アルベド | - |

表 8-7 出力データに関する変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------------|
| SWNET | Net shortwave radiation: 地表面の正味短波放射 | W m ⁻² |
| LWNET | Net longwave radiation: 地表面の正味長波放射 | W m ⁻² |
| QH | Sensible heat flux: 顕熱フラックス | W m ⁻² |
| QLE | Latent heat flux: 潜熱フラックス | W m ⁻² |
| QG | Ground heat flux: 地中熱流量 | W m ⁻² |
| QF | Energy of fusion: 融解に使われた熱 | W m ⁻² |
| QV | Energy of sublimation: 昇華に使われた熱 | W m ⁻² |
| EVAP | Evapotranspiration: 蒸発散量 | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| POTEVAP | Potential evapotranspiration: 可能蒸発散量 | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| QS | Surface runoff: 表面流出 | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| QSB | Subsurface runoff: 中間流出 | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| QTOT | Total runoff: 総流出 | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| SOILMOIST | Soil moisture: 土壌水分量 | kg m ⁻² |
| SOILTEMP | Soil temperature: 地温 | K |
| SWE | Snow water equivalent: 積雪水当量 | kg m ⁻² |
| AVGSURFT | Average surface temperature: 地表面気温 | K |
| SUBSNOW | Snow sublimation: 雪の昇華量 | kg m ⁻² s ⁻¹ |
| SALBEDO | Snow albedo: 積雪のアルベド | - |

この計算の結果、多くの出力が得られる。一例として、1979年の年間流出量を図8-2に示す。

図 8-2 1979 年の年流出量 [mm]¹⁸

8.5 陸面過程サブモデルの実行方法3:後処理

計算が正しく終了したかを確認するため、計算終了後、必ず水収支のチェックを行おう。

1. cpl/pst/に移動する。
2. list_watbal.sh を編集し¹⁹、実行する。

この結果、cpl/tab/wat_bal_に水収支が出力される。BAL の部分が水収支であり、この値が十分に小さいか、確認しよう。なお、-9999.99 は欠損値であり、該当するファイルが存在しないことを示す。また、list_watbal.sh は 1 年単位で水収支の確認を行うプログラムである。複数年の水収支の確認には対応していない。

list_watbal.shの出力には、2種類の方法で計算された水収支が表示される。冒頭の100~200行では、水収支式に登場する全項目の全球（または流域）の総和が表示されたのちそれらを水収支式に代入することで求めた全球（流域）の水収支誤差が示される。

一方で出力の末尾の40行程度 (+++Water imbalance of land+++以降)では、水収支誤差が一番大きな格子の情報が表示される。また、BALLND, BALSU, BALGWでは、格子毎に水収支式を解き、それらの総和を取ることで求めた全球（または流域）における水収支誤差が表示される。

全球0.5度（有効格子数7万弱）の解像度では両者に顕著な差異は現れないが、全球5分（有効格子数200万）の解像度になると、差異が無視できなくなることが報告されている。誤差が大きくなるのは前者である。高解像度で計算を行う場合には、後者の誤差を採用してほしい。

¹⁸ 作成方法は以下の通り。

```
% cd lnd/out/Qtot_
% gmt makecpt -T0/4000/1000 -Z > temp.cpt
% mulhlf WFDELR_19790000.hlf 86400 temp.hlf
% mulhlf temp.hlf 365 temp.hlf
% hlf2eps temp.hlf temp.cpt temp.eps
% htconv temp.eps temp.png rot
```

¹⁹ 例えば 1979 年の解析をする場合は、YEAR=1979, MON=00, YEARINI=1978, MONINI=12, YEAREND=1979, MONEND=12 とする。こうする理由は図 5-5 を参照してほしい。

3. `draw_all.sh` の設定を確認し、実行する。

この結果、1 地点の水収支項目が時系列グラフで表示される。計算に不具合が生じているセルの LON と LAT を指定して実行すれば、計算結果を詳細に解析できるので有用だろう。

・コラム・4

●スピニアップ

陸面過程サブモデルのシミュレーションを開始するにあたり、土壌水分などの状態量の初期値が必要である。計算開始時点の状態量が分かっていない場合は何らかの方法を使って推定が必要である。ここでは二つの方法を考えよう。

一つ目は、H08 の陸面過程サブモデルの状態量が定常状態になるまで約2～3年で済むことを利用する方法である。適当な初期値からシミュレーションを行い、5年もすれば完全に定常状態になっていると考えられるので、計算開始5年程度は「スピニアップ期間」として解析対象から外し、6年目を以降を解析する方法である。ただし、この方法は解析期間が短くなるデメリットがある。

二つ目は適当な初期値を与えて計算を開始した後、シミュレーション期間の最初の1年の気象データを繰り返しモデルに与え、定常状態に収束させる方法である。具体的には状態量の前年との差が一定の値に収まると収束したとみなし、それを初期値として再度シミュレーションを開始する。陸面過程サブモデルの標準設定では、土壌水分量について、前年との差が5%以内になったセルが全体の95%を占めることを収束の条件としている。

最も望ましいのはこれらの2つの方法を組み合わせることである。WFDEI は 1979 年～2013 年の気象データを提供していたが(2016 年時点)、Hanasaki et al. (2018)の解析で利用したのは 1984 年～2013 年の 30 年分の計算結果である。この時は 1979 年の気象データを利用して繰り返し計算を実施し、初期値を求めた後、2013 年まで 35 年分計算し、最初の 5 年は解析に用いず、最後の 30 年を解析対象としていた。

第9章

河川サブモデル

この章では河川サブモデルについて理解しよう。

9.1 河川サブモデルの仕組み

H08 の河川サブモデルは Oki et al. (1999) に記述されたモデルおよびそのソースコードを原型としている。詳細な数式と理論的背景が知りたい場合は、Oki et al. (1999) を参照してほしい。

河川サブモデルの模式図を図 9-1 に示す。河道は直線で、断面形状を持たない仮想的なものである。この河道には河道内貯留量(RivSto)という一つの状態量がある。この河道には上流の河道からの流入量(RivInf)および、自らのセルの総流出量($Q_{tot} \times A$)が流入する。計算セルからその下流のセルまでの距離を、ある一定の流速で水が流下することを仮定し、河川流量(RivOut)の計算が行われる。

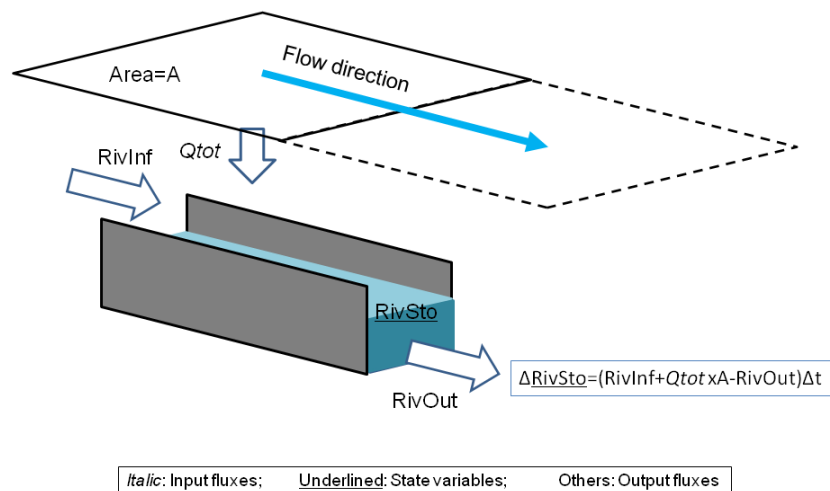


図 9-1 河川サブモデルの模式図

9.2 河川サブモデルの計算過程

河川サブモデルの計算過程は次のようなものである。

- 1 計算設定を定義した `namelist` のファイル名を読み込む
- 2 `namelist` を読む
- 3 地図データを読む
- 4 状態量（河道内貯留量のみ）を初期化する
- 5 ループを開始する（スピニングアップについては第8章を参照のこと）
 - 5.1 フラックス（総流出量のみ）を読む
 - 5.2 `calc_outflow` サブルーチンを呼ぶ

5.3 状態量（河道内貯留量のみ）を書く

5.4 フラックス（河川流量のみ）を書く

9.3 河川サブモデルの実行方法1:前処理

1. riv/pre/に移動する。
2. prep.sh の設定を確認し、実行する。設定するのは表 9-1 に示されるモデルパラメータと、表 9-2 に示される状態量の初期値である。
3. 蛇行比と流速の2つのモデルパラメータファイルが riv/dat に、河道内貯留量の初期値ファイルが riv/ini に出力される。

表 9-1 モデルパラメータに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------|---------------------------|-------------------|
| FLWVEL | Flow velocity: 河川水の流速。 | m s ⁻¹ |
| MEDRAT | Meandering ratio: 河道の蛇行比。 | - |

表 9-2 状態量に関する変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------|-----------------------|----|
| RIVSTO | River storage: 河道内貯留量 | kg |

9.4 河川サブモデルの実行方法2:本計算

1. riv/bin/に移動する
2. main.sh²⁰を編集し、実行する。表 9-3 から表 9-5 に示すシェル変数を設定する。
3. riv/out/riv_out_ディレクトリに各グリッド河道の下流端流量データファイルが出力される。流量の単位は[kg s⁻¹]である。また、riv/out/riv_sto_ディレクトリには河道内貯留量データファイルが出力される。河道内貯留量の単位は[kg]である。

表 9-3 入力水文データに関する変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|-------|--------------------|------------------------------------|
| QTOT | Total runoff: 総流出量 | kg m ⁻² s ⁻¹ |

表 9-4 入力地図データに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------|------------------------------------|----|
| RIVSEQ | River sequence: 河川追跡順。例えば、最上流グリッドは | - |

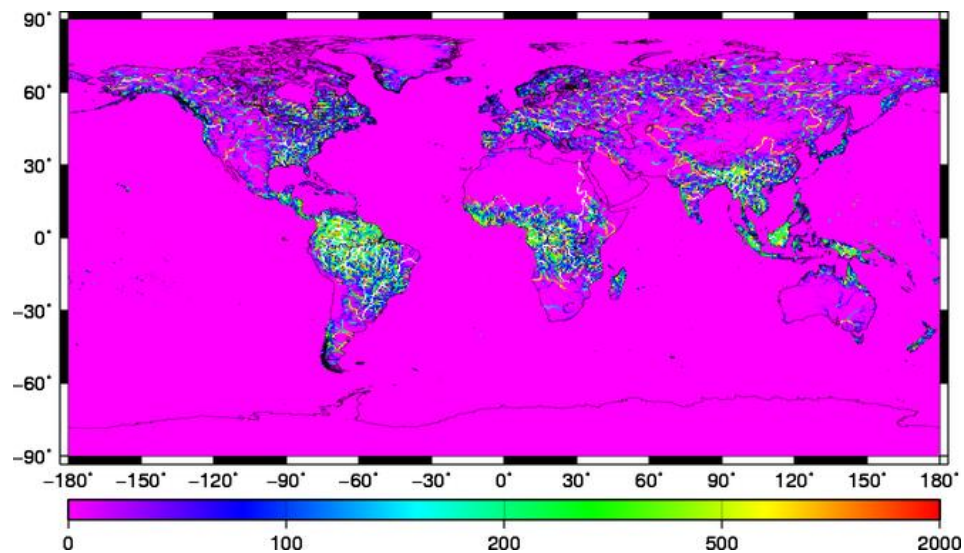
²⁰ FTCS スキームで計算を行う場合の方法は以下のとおりである。

1. riv/bin に calc_humact_ftcs.f, calc_outflow_ftcs.f, main_ftcs.f, main_ftcs.sh の4つのファイルがあり、全てコンパイルされていることを確認する。
2. main_ftcs.sh を開き基本設定を編集する。この際 SECINT（秒間隔）が十分に短い値になるよう注意する。（main_ftcs.f には、河川モデルの時間解像度を CFL 条件を満たすまで細かくするための処理が含まれている）
3. main_ftcs.sh を実行する。
4. main.sh を実行したときと同様に 9.5 に進み、結果の確認を行う。

| | | |
|--------|--|----------------|
| | 1、下流に一つ下る毎に1ずつ加算される。ただし、海域は0である。 | |
| RIVNXL | The L coordinate of the next (downstream) grid cell: 各グリッドで、下流側のグリッド地点を指定する。 | - |
| RIVNXD | Distance to the next (downstream) grid cell: セルの中心点から次の下流のセルの中心点までの直線距離。 | m |
| LNDARA | Land cell area: セルの面積。 | m ² |

表 9-5 出力データに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------|------|--------------------|
| RIVOUT | 河川流量 | kg s ⁻¹ |

図 9-2 1979 年の年河川流量 [m³ s⁻¹]

9.5 河川サブモデルの実行方法3: 後処理

1. cpl/pst/に移動する。
2. list_watbal.sh を編集し、実行する。

この操作によって、流域別の水収支表が作成されるので、水収支が閉じているか確認する。

3. 6.6 節に戻り、main_dam.sh を実行する。

第10章

作物成長サブモデル

この章では作物成長サブモデルについて学ぶ。

10.1 作物成長サブモデルの仕組み

H08 の作物成長サブモデルは SWIM (Krysanova et al., 2000) に記述されていた作物成長アルゴリズムを独自にコーディングし、H08 のサブモデルとしたものである。ここで SWIM は流域を対象とした水文モデルで、H08 と同様に、水文過程を解くモデルと作物成長を解くモデルからなっている。一般的に、作物成長モデルは収量の推定や予測に用いられる。しかし、H08 では日単位の灌漑需要量の推定が最大の目的であるため、世界の農事暦の推定に用いられている。この使い方はかなり特殊なので注意してほしい。

作物成長サブモデルで最も重要な概念は積算温度である。積算温度とは作付け開始日 (Planting date) からの 1 日ごとの気温を足し合わせたものであり、例えば 4 月 1 日に作物を植えたとして、4 月 1 日の日平均気温 (Tair) が 15°C、2 日が 18°C、3 日が 12°C の場合、4 月 1 日の積算温度は 15°C、2 日は 33°C、3 日は 45°C となる。この積算温度が一定の値 (例えば 1500°C) に達すると成熟し、収穫日 (Harvesting date) を迎える。この成熟までの積算温度は、作物に固有の値をとる。作付け開始日から収穫日までの日数を栽培期間 (Cropping Period) と言う。具体的な例を取りながら考えてみよう。図 10-1 の赤色の線はある仮想的な場所 A の日平均気温を示しているものとする。このとき、1 月 1 日から 12 月 31 日まで毎日作付けを開始したとして栽培期間が何日になるか、つまり積算温度が 1500°C に達するまでに何日かかるかを示したのが図 10-1 の緑色の線である。栽培期間中に夏を迎える場合は栽培期間が短くなり、栽培期間中に冬を迎える場合は栽培期間が長くなる。

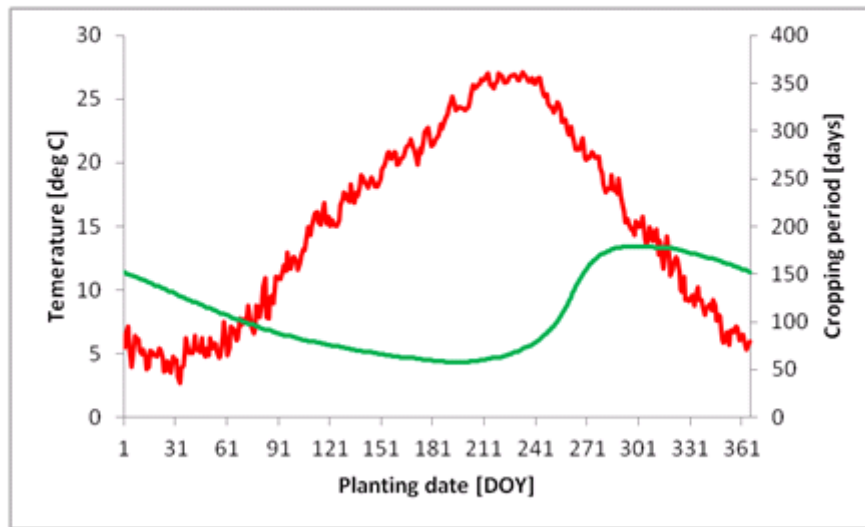


図 10-1 仮想的な場所Aの日平均気温と栽培日数の関係。

ここで、一般に植物は気温が低すぎると成長できない。このことを考慮するため、1日の平均気温から作物に固有の閾値(Base temperature)を引いて、積算温度を計算することがある。これを有効積算温度と呼び、SWIMにも採用されている。図 10-2 の緑色の線は Base temperature を 10°C に設定して求めた栽培日数である。ここで、1日でも 10°C を下回る日があると枯死すると仮定した。図 10-2 は Day Of Year が 90 から 190 の場合のみ収穫が可能で、栽培日数が計算できるという結果を示している。

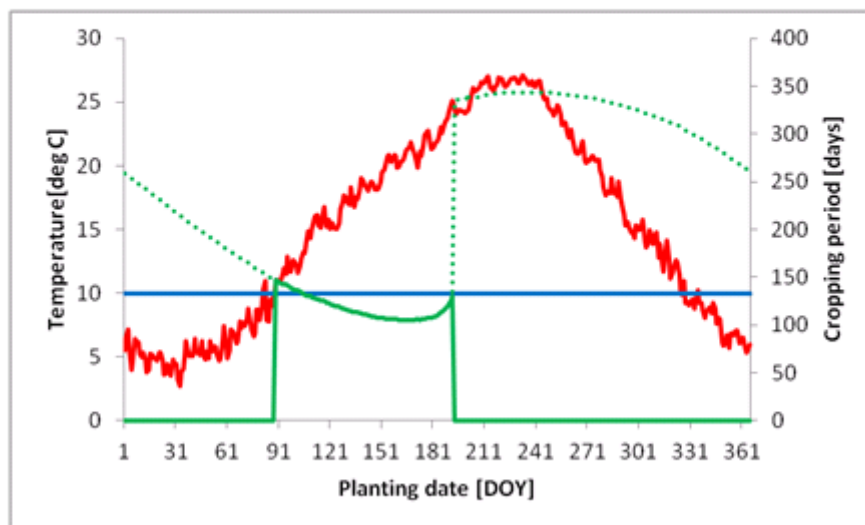


図 10-2 有効積算温度を考慮した場合の日平均気温と栽培日数の関係。

次に、収量を計算するときの基本概念を示す。栽培期間中の総バイオマス量 (BT) は以下のように表される。以下、式に現れる記号は SWIM のマニュアル(Krysanova et al., 2000)に準拠する。

$$BT = \sum \Delta B \quad (10-1)$$

ここで、 ΔB とは一日のバイオマス生産量であり、次のように表される。

$$\Delta B = BE \times PAR \times REGF \quad (10-2)$$

ここで、BE は光合成効率で植物固有の値 (パラメータ) である。例えば C3 植物よりも C4 植物の方が、光合成効率は良い。PAR は光合成有効放射量(Photosynthetically Active Radiation)であり、下向き短波放射(SWdown)から換算される。REGF は成長阻害因子(Regulation Factors)である。SWIM モデルでは気温 (高温と低温)、水、窒素、リンの 4 項目が成長阻害因子となっている。これらによる阻害が全くない場合、REGF は 1 となり、PAR に応じて光合成が行われる。阻害がある場合は REGF が 1 を下回り、バイオマス生産も阻害される。一般に栽培期間が長くなるほど、期間中の PAR は大きくなり、バイオマス生産量も大きくなる。

収量(YLD)は以下のように表される。

$$YLD = BAG \times HVSTI \times \frac{WSF}{WSF + \exp(6.117 - 0.086WSF)} \quad (10-3)$$

ここで、BAG は地上バイオマス量(Aboveground biomass)、HVSTI は Harvest Index と呼ばれる係数 (パラメータ) で、地上にあるバイオマスのうち収穫部分のバイオマスの割合の最大値を示す。第 3 項は栽培期間後半²¹に作物にかかった水分ストレスを示す。ここで、WSF は水分ストレス因子(Water Stress Factor)であり、次のように表される。

$$WSF = \frac{SWU}{SWP} \times 100 \quad (10-4)$$

ここで、SWU は栽培期後半の実蒸発散量²²、SWP は栽培期後半の可能蒸発散量である。栽培期後半に実が形成されるが、このときに水分ストレスがあると収量が減少することを示している。

それでは、H08 を使って農事暦 (作付日と収穫日) を推定する具体的な計算手法について述べる。作物成長サブモデルを利用し、1 月 1 日から 12 月 31 日まで 1 日ずつ作付けを行い、収穫日と収量を計算する。期間中の気温が凍死する気温閾値を下回る場合、作物は枯死し、収量はゼロとなる。こうして 1 年のうち、収量が最大になる作付日を探し、この日をその場所の作付日、得られる収量を潜在収量とする。図 10-3 は作付日と収量の関係の例を示したものである。この例の場合、作付日が 80~190[DOY]の間に収穫が可能で、95[DOY]に収量が最大となる。標準では Leff et al. (2004)で収穫面積の世界分布が示された 19 品種 (表 10-1 を参照) について、世界の全ての地点で計算を行うことにより、世界の農事暦を求める。

上述のように計算する場合、収量は 1 日ごとの天候に左右され、収量はなめらかに変化しない。特に、春先は気温の低い日も多く、ひどく低温の場合は植物が凍死することもある。これらの可能性を除外するため、まず計算においては特定の年の気象データを用いず、複数年の平均を取ったものを用いる (標準では GSWP2-B1 の 1986-1995 年の 10 年平均を用いる)。また、栽培期間を

²¹ 作物の成長は根、葉、茎などの栄養機関が成長する栄養成長と花や実が成長する生殖成長に二分される。栽培期間の後半とは生殖成長のことを表している。SWIM では有効積算温度が成熟に達する温度の半分以上になったことを栽培期間の後半としている。ただし、現実の植物は、積算温度だけで栄養成長から生殖成長への切り替わりが決まるわけではないことに注意が必要である。

²² SWIM では蒸発と蒸散が区別されるので、SWIM マニュアルでは実蒸散量と記述されている。

求める際は、作付日ごとに前後 10 日間、計 21 日間の収量の移動平均を取ることによって、1 年を通しての収量の変動を平滑化し、その上でもっとも収量の大きくなる作付日と収穫日の組み合わせを栽培期間としている。

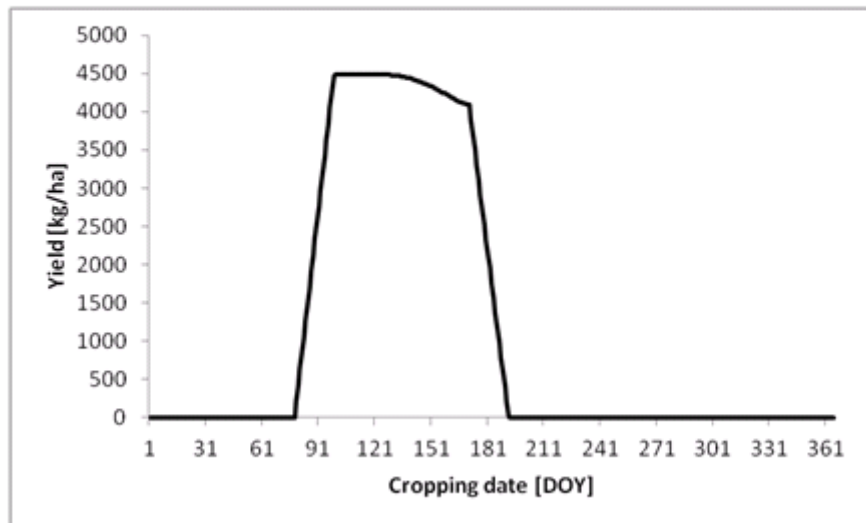


図 10-3 作付日と収量の関係。

温暖な地域では二期作や二毛作（以降、一期、二期と対比するため、二期作と呼ぶ）が行われている。二期作の農事暦も一期作と同じように、1 月 1 日から 1 2 月 3 1 日まで毎日作付けを開始したとしてそれぞれの日の収量の計算を行っていく。しかし二期作の場合は一期作の栽培期間外で作付けを開始し、収穫を終えなければならない。さらに、二期作と一期作は収穫日と作付日が最低 15 日以上空いていなければならないとする。この条件に違反する場合は、農事暦の重なり（overlapping）が起きたとして収穫量はゼロになる。

さて、一期作では 19 種類の作物に関して農事暦を求めたが、理論上は、一期作×二期作で $19 \times 19 = 361$ 通りの組み合わせが考えられる。しかし実施には莫大な計算機リソースが必要で実現は難しい。よって、標準設定では、Leff et al. (2004)による収穫面積割合のデータから、各グリッドにおいて 2 番目に作付面積の多い作物種を二期作物と仮定し、これらの作物で栽培期間を推定するようにしている。ただし、これはかなり大雑把な仮定となっていることは留意しなければならない。

表 10-1 作物 ID と名前の対応表。作物名前の略記の末尾が g の場合は generic で代替していることを示す。

| 作物 ID | 略称 | 説明 |
|-------|------|-------------------------------|
| 1 | bar_ | barley: 大麦 |
| 2 | casg | cassava: キャッサバ(generic で置き換え) |
| 3 | cot_ | cotton: 綿花 |

| | | |
|----|------|-------------------------------|
| 4 | grn_ | ground nut (peanut):落花生 |
| 5 | mai_ | maize (corn for grain):トウモロコシ |
| 6 | milg | millet:穀類(generic で置き換え) |
| 7 | oilg | oil palm:アブラヤシ(generic で置き換え) |
| 8 | othg | others:その他(generic で置き換え) |
| 9 | pot_ | potatoes:ジャガイモ |
| 10 | pulg | pulses:豆類(generic で置き換え) |
| 11 | rap_ | rape:セイヨウアブラナ |
| 12 | ric_ | rice:米 |
| 13 | rye_ | rye:ライ麦 |
| 14 | sor_ | sorghum:モロコシ |
| 15 | soy_ | soybean:大豆 |
| 16 | sub_ | sugar beet:テンサイ、サトウダイコン |
| 17 | suc_ | sugarcane:サトウキビ |
| 18 | sun_ | sunflower:ヒマワリ |
| 19 | whe_ | wheat:小麦 |

10.2 作物成長サブモデルの計算過程

作物成長サブモデルの計算過程は次のようなものである。

- 1 計算設定を定義した `namelist` のファイル名を読み込む
- 2 `namelist` を読む
- 3 パラメータファイルを読む
- 4 地図データを読む
- 5 全てのセルと陸のみのセルの L 座標の換算表を作成する
- 6 状態量を初期化する
- 7 入力水文・気象データ（気温、可能蒸発散量、蒸発散量、下向き短波放射）を全期間分読む
- 8 作付日ループを開始する
 - 8.1 気温が作付開始気温を上回る時、栽培フラグを 1 にする。
 - 8.2 栽培日数ループを開始する
 - 8.2.1 栽培日数が重複期間にかかる場合、栽培フラグを 0 にする。
 - 8.2.2 入力水文・気象データをセットする
 - 8.2.3 `calc_crpyld` サブルーチンを呼ぶ
 - 8.2.4 出力結果を配列にコピーする
 - 8.3 配列を初期化する
- 9 出力結果（収量）を配列にコピーする
- 10 収量の移動平均を計算し、最大になる作付日、収穫日、栽培日数を出力する
- 11 結果をファイルに出力する。

10.3 作物成長サブモデルの実行方法1:前処理

1. Map/org/SWIM を crp/org/に移動する。

```
% cd $DIRH08
% mkdir crp/org
% mv map/org/SWIM crp/org/
```
2. crp/pre/に移動する。
3. prep.sh の設定を確認し、実行する。この結果、下向き短波放射、気温、可能蒸発散量、蒸発量の平均値が計算される。
4. 6.7 節に戻り、prep_map_despot.sh を実行する。

ここで、作物成長サブモデルは、陸面過程サブモデルの出力結果である蒸発散量と可能蒸発散量も使うことに注意しよう。

表 10-2 状態量に関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|----------|---------------------|-------|
| BTINI | トータルバイオマス。 | kg/ha |
| RSDINI | 分解されず土壌にこっているバイオマス。 | kg/ha |
| OUTBINI | 系の外にあるバイオマス | kg/ha |
| HUNAINI | 有効積算温度 | degC |
| SWUINI | 栽培期間後期の蒸発量 | mm |
| SWPINI | 栽培期間後期の可能蒸発量 | mm |
| REGFWINI | 水ストレスがかかった日数 | day |
| REGFLINI | 低温ストレスがかかった日数 | day |
| REGFHINI | 高温ストレスがかかった日数 | day |
| REGFNINI | 窒素ストレスがかかった日数 | day |
| REGFPINI | リンストレスがかかった日数 | day |

10.4 作物成長サブモデルの実行方法2:本計算

1. crp/bin/に移動する。
2. main.sh を編集し、実行する。表 10-3 から表 10-8 までのシェル変数を設定する。JOBS="1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19"とする。この数字は作物の種類を表す。このようにすると、19 の作物種全てについて、農事暦を求めることができる。

この結果、crp/out に作物ごとの計算結果が入る。crp_で始まるディレクトリには栽培日数 (cropping days) が、hvs_で始まるディレクトリには収穫日 (harvesting date) が、yld_で始まるディレクトリには収量[kg ha⁻¹]が、reg_で始まるディレクトリは最大成長阻害要因の ID (1:高温ストレス、2:低温ストレス、3:水ストレス、4:窒素ストレス、5:リンストレス) が、plt_で始まるディレクトリには作付日 (planting date) が、mav_で始まるディレクトリには 2 1 日移動平均の収量[kg ha⁻¹]が出力される。例えば、1 月 1 日に大麦の作付けを行った場合に得られる収量[kg ha⁻¹]

は../out/mav_bar_/WFDE_C_00000101.hlf ファイルに格納される。

3. crp/pst/に移動する。
4. calc_crpcal.sh の設定を確認し、実行する。変数 MARGIN は 1 期作と 2 期作の間に最低限確保する日数を表す。

この結果、まず、1 期作作物が農地を使用する期間の開始日と終了日が crp/out/ocu_ini_ と crp/out/ocu_end_ にそれぞれ出力される（開始日とは 1 期作の作付日から MARGIN で設定した日数前の日、終了日とは、同じく後の日である）。また、crp/out/plt_1st_, crp/out/hvs_1st_, crp/out/crp_1st_, crp/out/yld_1st_, crp/out/reg_1st_ にそれぞれ 1 期作作物の作付日、収穫日、栽培日数、収量、最大成長阻害因子が出力される。これらは、19 種の計算結果から 1 期作作物に該当する作物について抜き出したものである。

5. crp/bin/に移動する。
6. main.sh を編集し、実行する。このとき、JOBS=2nd にする。このとき、シェルスクリプト中盤で、ocu_ini_や ocu_end_ などが読み込まれることに注意する。

この結果、crp/out/plt_2nd_, crp/out/hvs_2nd_, crp/out/crp_2nd_, crp/out/yld_2nd_, crp/out/bt__2nd_ にそれぞれ 2 期作作物の作付日、収穫日、栽培日数、収量、最大成長阻害因子が出力される。

10.5 作物成長サブモデルの実行方法3: 後処理

1. crp/pst/に移動する。
2. draw_crpyld_map.sh の設定を確認し、実行する。
3. crp/fig/に農事暦や収量の全球分布図が出力される。

表 10-3 計算条件に関する変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------|--|-----|
| PRJ | 4 文字のプロジェクト名(何でもよい)。 | - |
| RUN | 4 文字の RUN の名前(何でもよい)。 | - |
| SUF | H08 Format 2D 形式の 4 文字の拡張子。 | - |
| MAP | マップの種類。(例: 流下方向ファイル、flwdir.WFDEI.hlf などから.WFDEI の部分) | - |
| YEAR | 計算対象年。平均値を使用する場合は 0000 を指定。 | - |
| SECINT | 計算時間間隔。 | sec |
| NL | 計算対象領域の空間サイズ。例えば、全球を対象として空間解像度を 0.5°にすれば 259200(720x360)になる。 | - |
| LDBG | デバッグモードで計算結果を出力する地点の L 座標 | - |
| RAMDBG | デバッグモードで計算結果を出力する作物ID | - |
| JOBS | Leff et al. (2004)の作物 ID で、1 から 19 までの整数。ある | - |

いは二期作農事暦を計算する場合は 2nd とする。

表 10-4 モデルパラメータ(SWIM 標準)に関する変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|----------|--|----|
| RAM2SWIM | Leff et al. (2004)の作物IDを SWIM の作物IDに変換する対応表。 | - |
| RAM2NAME | Leff et al. (2004)の作物 ID と作物略称(表 10-1)の対応表。 | - |
| SWIM2RAM | SWIM の作物インデックスを Leff et al. (2004)の作物インデックスに変換する対応表。 | - |
| CRPPAR | SWIM のパラメータファイル | - |

表 10-5 モデルパラメータ(SWIM 非標準)に関する変数の一覧²³。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------------|--|--------|
| DAYMAV | 収量の移動平均の日数。例えば、10 日だとタイムステップ前後 10 日の移動平均を計算する。 | day |
| INTCRPDAYMAX | 最長栽培日数。これ以上の栽培日数は認めない。 | day |
| REGFMIN | 作物成長阻害因子(高温、低温、水、窒素、リン)の中で、何が制約条件になっているかを示すのが REGF。出力の閾値を示す。 | - |
| TDORM | 冬作物の冬眠気温。 | degC |
| TFRZ | 冬作物が凍死する気温。 | degC |
| HUNMAX | 積算気温計算時の1日の積算量の上限。 | degC |
| IHUNMAT | 作物の収穫時期の指標。作物の生育度を 0 から 1 で表現すると、必ずしも 1 になるまで収穫を待つ必要がない。モデルでは作物の生育度が IHUNMAT 以上になれば収穫する。 | - |
| TSAW | 作付けを行う時の最低気温。この値を下回っている時は作付けを行わない。 | degC |
| THVS | 収穫を行うときの最低気温。この値を下回っている時は収穫を行わない。 | degC |
| OPTTS | 作物の生育阻害要因としての気温ストレスの考慮の有無。 | yes/no |
| OPTWS | 作物の生育阻害要因としての水ストレスの考慮の有無。 | yes/no |
| OPTNS | 作物の生育阻害要因としての窒素(肥料)の考慮の有無。 | yes/no |
| OPTPS | 作物生育阻害要因としてのリン(肥料)の考慮の有無。 | yes/no |
| OPTFRZ | 気温が TFRZ を下回った時の計算終了の有無。 | yes/no |

²³ ここにあるパラメータはオリジナルの SWIM にはないもので、特に慎重な検証が必要である。

表 10-6 入力気象データに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|---------|-----------------------------|-----------------------------------|
| TAIR | 地表面付近の気温。 | K |
| SWDOWN | 地表面の短波放射フラックス。 | Wm ⁻² |
| POTEVAP | ポテンシャル蒸発フラックス。陸面過程サブモデルの出力。 | kgm ⁻² s ⁻¹ |
| EVAP | 蒸発フラックス。陸面過程サブモデルの出力。 | kgm ⁻² s ⁻¹ |

表 10-7 入力地図データに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|-----------|--|-----|
| LNDMSK | Land mask: 陸域マスクファイル | - |
| CRPTYP | Crop type: 作物種類(スクリプトの後半にあるので注意！) | - |
| DOYOCUINI | Initial date of the occupied period: 農事暦の重なり期間の始まり(スクリプトの後半にあるので注意！) | DOY |
| DOYOCUEND | Final date of the occupied period: 農事暦の重なり期間の終わり(スクリプトの後半にあるので注意！) | DOY |

表 10-8 出力ファイルに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|---------------|---|---------------------|
| YLDMAV | Yield (moving average): 収量(移動平均) | kg ha ⁻¹ |
| YLDMAX | Maximum yield: 最大収量 | kg ha ⁻¹ |
| PLTDOYMAX | Planting date producing the maximum yield: 最大収量を発生させる作付日 | DOY |
| HVSDOYMAX | Harvesting date producing the maximum yield: 最大収量を発生させる収穫日 | DOY |
| FILECRPDAYMAX | Cropping days producing the maximum yield: 最大収量を発生させる栽培日数 | day |
| REGFD | Dominant regulating factor: 主要な成長阻害要因 | - |
| CWSG | Crop water supply from green water: 天水起源の水供給 ²⁴ | kg m ⁻² |
| CWSB | Crop water supply from blue water: 灌漑起源の水供給 ²⁵ | kg m ⁻² |

²⁴ 天水農地で栽培されている場合、栽培期間中にどれだけの天水が消費されるか。

²⁵ 灌漑農地で栽培されている場合、栽培期間中にどれだけの灌漑水が必要となるか。

第 11 章

貯水池操作サブモデル

この章では貯水池操作サブモデルについて理解しよう。貯水池は操作ルールに従って、貯水位、貯水量、放流量などがコントロールされている。例えば日本では、貯水池の操作ルールが時期を含めて厳密に決められており、貯水池はその通りに運用されることになる。もし、世界の全ての貯水池について操作ルールが入手できるなら、H08 はそれを参照して貯水池を操作すればよいだろう。しかし、一般に操作ルールは公開されていない場合が多く、特に途上国では入手が困難である。また、貯水池の貯水容量が年流入量に対して大きい場合、貯水量を翌年以降に繰り越せるため、毎年状況に応じて操作ルールを決定する必要がある。このような理由から、世界の任意の貯水池について、操作ルールを推定する必要がある。この作業を行うのが貯水池操作サブモデルである。

11.1 貯水池操作サブモデルの仕組み

貯水池操作サブモデルの仕組みや根拠は Hanasaki et al. (2006) に詳しく記述されている。ここでは概要だけを示す。

貯水池操作サブモデルは貯水池の操作ルールを推定するモデルである。現実の操作ルールは貯水池に固有のものであり、単純に推定できるものではない。しかし、現時点で貯水池に関して入手可能な情報は非常に限られることから、貯水池操作サブモデルは極度に単純な、概念的な操作ルールを推定する。操作ルールは 2 つの仮定の下に推定される。一つ目は、「貯水池は、流量の年々変動・季節変動の大きさや頻度を減らすように操作されるはずである」というものである。二つ目は、「貯水池は、下流の水需要に季節変動があれば、それに応じて操作されるはずである」というものである。

貯水池サブモデルは総貯水容量が 1km^3 以上の貯水池のみを対象にする。これらの貯水池の主目的が灌漑である場合は「灌漑貯水池」、それ以外の場合は「非灌漑貯水池」と呼ぶ。

H08 が推定する貯水池の操作ルールは、年々変動を緩和する操作と季節変動を緩和する（下流の水需要の季節変動に合わせて放流する）操作の 2 つに大別される。前者は、次の一つの式で表す。ある年の年間総放流量($R[\text{m}^3]$)、河川流量($I_{\text{mean}}[\text{m}^3]$)とすると、

$$R \approx k_{rls} \cdot I_{\text{mean}} \quad (11-1)$$

と表される。ここで、 k_{rls} は放流係数で、

$$k_{rls} = \frac{S_{\text{first}}}{0.85C} \quad (11-2)$$

と表される。ここで、 S_{first} は貯水池操作年開始時点の貯水量、 C は貯水池の総貯水容量、0.85 は経験的に得られた係数である。

貯水池操作年とは、次のように説明される。まず、平年の貯水池への流入量の季節変動から、流入量が年平均値を上回る時期と、下回る時期に分ける。ここで数学的な処理を行って変動を除去することにより、流入量が年平均を上回る「貯水期」と下回る「放流期」に 1 年を二分する。ここで「貯水池操作年」は放流期の始まりから開始し、貯水期の終わりで終了するものとする。よって、 S_{first} は貯水期の終了時点、つまり、1 年のうち、最も貯水池の貯水量が多い時期の貯

水量、ということになる。

続いて、季節変動を緩和する（下流の水需要の季節変動に合わせて放流する）操作である。既に述べたように、貯水池は目的に応じて「灌漑貯水池」と「非灌漑貯水池」に分けられた。「非灌漑貯水池」の放流量の暫定値(r' [m³/s])は次のように表される。

$$r' = k_{rls} \cdot i_{mean} \quad (11-3)$$

ここで、 i_{mean} は平均年流量[m³/s]である。「灌漑貯水池」の放流量の暫定値(r' [m³/s])は次のように表される。

$$r' = \begin{cases} \frac{i_{mean}}{2} + \frac{i_{mean}}{2} \times \frac{\sum \{k_{alc} \times (d_{agr} + d_{ind} + d_{dom})\}}{d_{mean}} & \left(\frac{i_{mean}}{2} \leq d_{mean} \right) \\ i_{mean} + \sum_{area} \{k_{alc} \times (d_{agr} + d_{ind} + d_{dom})\} - d_{mean} & \left(d_{mean} < \frac{i_{mean}}{2} \right) \end{cases} \quad (11-4)$$

ここで、 d_{agr} 、 d_{ind} 、 d_{dom} はそれぞれ日単位の農業、工業、生活用水需要である。 d_{mean} は長期平均の総水需要である。 k_{alc} は水需要の貯水池への依存度を表す。つまり、ある地点の上流には2つの支川があり、それぞれに貯水池があるとす。このとき、どちらのダムに水需要をどれだけ依存するか、別の言い方をすると、どちらのダムに水需要をどれだけ割り振るか(allocate)を示す。 $\Sigma area$ は貯水池下流の計算格子について足し合わせることを示す。

最後に、放流量 (r [m³/s]) は次のように表される。

$$r = \begin{cases} k_{rls} \times r' & (c \geq 0.5) \\ \left(\frac{c}{0.5} \right)^2 k_{rls} \times r' + \left(1 - \frac{c}{0.5} \right)^2 i & (c < 0.5) \end{cases} \quad (11-5)$$

ここで、 i は流入量[m³/s]、 $c(=C/I_{mean})$ は年流量に対する貯水容量の比である。つまり、 c が 0.5 より小さい場合、放流量が流入量にも応じたものになる。年流量に対して貯水容量が著しく小さい場合 ($c \approx 0$ の場合)、貯水池操作によって放流量を改変することができないため、放流量は流入量に一致する。

11.2 貯水池操作サブモデルの計算過程

貯水池操作サブモデルの計算過程は次のようなものである。

- 1 計算設定を定義した namelist のファイル名を読み込む
- 2 namelist を読む
- 3 入力データを読む
- 4 状態量を初期化する
- 5 時間ループを開始する
 - 5.1 流入量データを設定する。
 - 5.2 需要量データを設定する。
 - 5.3 calc_resope サブルーチンを呼ぶ
 - 5.4 出力結果を配列にコピーする
- 6 結果をファイルに出力する。

11.3 貯水池操作サブモデルの実行方法1(前処理)

1. riv/pst/に移動する。
2. calc_mean.sh の設定を確認し、実行する。
3. calc_flddro.sh の設定を確認し、実行する。

この操作は、河川流量シミュレーションを利用して、1年を貯水期と放流期に分離する。この結果を基に、riv/out/fld_dro_が作成される。

貯水池操作モデルの開発や改良を行わない場合、以降の操作は不要なので、12章に移ること。

以下では貯水池操作サブモデルを単体で実行する方法について説明する。この単体でのシミュレーションはモデルの重点的な開発や検証を行うときにのみ使う²⁶。通常、貯水池操作サブモデルは第13章で示される通り、陸面過程サブモデルと河川サブモデルと結合して利用される。

4. map/org/H06-GRanD/を dam/org に移動する。
5. dam/pre/に移動する。
6. prep_obsope.sh を実行する。この操作によって、dam/org/H06_GRanD にある貯水池の操作記録が、H08 Format に変換される。
- 7.
8. list_obsope.sh を実行する。この操作によって、dam/bin/main.sh が参照するダム情報ファイル dam/dat/obs_lst_/obsdat.txt が作成される。
9. prep_damdem.sh を実行する。この操作によって、貯水池の需要が dam_dem_に記録される。この操作は農業用水需要の計算を実施した後に行わなければならない。
10. draw_obsope.sh を実行すると、貯水池操作（観測の貯水量と放流量）を図化することができる。

11.4 貯水池操作サブモデルの実行方法2(本計算)

ここでは貯水池操作サブモデルのみを単独で使った計算方法について記す。陸面過程サブモデルや河川サブモデルと連動させた河川流量シミュレーションの実施は第13章で述べる。

1. dam/bin/に移動する。
2. main.sh の設定を確認し、実行する。

²⁶ 具体的に言うと、Hanasaki et al. (2006)で示された解析を追試するということ。

11.5 貯水池操作サブモデルの実行方法3(後処理)

結果はテキストファイルで出力されるので、MS Excel 等で容易に解析できるだろう。ここでは基本的な図を作成して確認する手法を記す。

1. dam/pst/に移動する。
2. draw_result.sh を編集し、実行する。

第 12 章

環境用水サブモデル

この章では環境用水サブモデルについて理解しよう。

12.1 環境用水サブモデルの仕組み

環境用水とは河川の自然環境を維持するために必要な流量のことである。H08 では環境用水をグローバルに推定するために白川（2005）のモデルを利用している²⁷。このモデルは、月単位の全球河川流出高（河川流量を流域面積で割って嵩に換算したもの）のグリッドデータを利用し、12ヶ月のうち、月流出高が最も大きくなる月と、最も小さくなる月を抽出する。そして月流出量の最大値 q_{\max} と最小値 q_{\min} から陸域を表 12-1 にある 4 つの地域に分類する。ここで月河川流出高 (q) に応じた環境流量 (q_{env}) が月毎に設定される。

表 12-1 分類

| 地域分類 | 条件 | 条件 | 環境流量 |
|----------|--|-----------------|-------------------------|
| 年中少雨 | $q_{\min} < 1 [\text{mm mo}^{-1}]$ かつ | $0 \leq q < 1$ | $q_{\text{env}} = 0$ |
| | $q_{\max} < 10 [\text{mm mo}^{-1}]$ | $1 \leq q$ | $q_{\text{env}} = 0.1q$ |
| 年中多雨 | $10 [\text{mm mo}^{-1}] \leq q_{\min}$ かつ $100 [\text{mm mo}^{-1}] \leq q_{\max}$ | | $q_{\text{env}} = 0.4q$ |
| 年を通して安定 | $1 [\text{mm mo}^{-1}] \leq q_{\min}$ かつ $q_{\max} < 100 [\text{mm mo}^{-1}]$ | | $q_{\text{env}} = 0.1q$ |
| 乾期と雨季が存在 | 上記以外 | $0 \leq q < 1$ | $q_{\text{env}} = 0$ |
| | | $1 \leq q < 10$ | $q_{\text{env}} = 0.1q$ |
| | | $10 \leq q$ | $q_{\text{env}} = 0.4q$ |

12.2 環境用水サブモデルの計算過程

環境用水サブモデル(riv/pst/prog_envout.f)の計算過程は次のようなものである。

- 1 引数を読み込む
- 2 流域面積ファイルを読む
- 3 月別の河川流量ファイル[kg/s]を読み、流域面積データを利用して単位を[mm/mon]に変換する
- 4 月河川流量の最大値と最小値を求める。
- 5 白川(2005)に従って、世界の陸域を 4 つに分類する。
- 6 分類に従って、環境用水[kg/s]を求める。

²⁷ ただし、一部簡略化されている。例えば白川(2005)のモデルにあった出水擾乱は、全球モデルでの取り扱いが難しかったため省かれている。

12.3 環境用水サブモデルの実行方法1(前処理)

河川サブモデルによる河川流量シミュレーションを月単位で実施していることが前提となる。

12.4 環境用水サブモデルの実行方法2(本計算)

環境用水の計算は以下のように行う。

1. riv/pst/に移動する。
2. calc_envout.sh の設定を確認し、実行する。
3. 環境流量が riv/out/env_out_ に出力される。

12.5 環境用水サブモデルの実行方法3(後処理)

1. cpl/pst/に移動する。
2. list_watbal.sh を編集し、実行する。
3. cpl/tab/wat_bal_ の表に環境用水の総量が表示される。

第13章

結合モデル

これまでに陸面過程サブモデル、河川サブモデル、作物成長サブモデル、貯水池操作サブモデルを独立して利用するための説明を行ってきた。これらを結合し、一体的に利用するための方法を説明する。

13.1 結合モデルの仕組み

これまでに解説してきた陸面過程サブモデル、河川サブモデル、作物成長サブモデル、貯水池操作サブモデルの main ファイルを見ると、基本的に1) 入力データや設定条件を読み込み、2) 計算に関するサブルーチンを呼び、3) 出力データを書き出す、という構成になっていた。結合モデルにおいては、一つの main ファイルから4つのサブモデルのサブルーチンを呼ぶことにより、一体的なモデルとして動かせるようになっている。

結合モデルはサブモデルの結合以外にもいくつかの特徴がある。第1の特徴は、いくつかの人間活動要素が追加されていることである。農地への灌漑と河川からの取水が代表的なものである。第2の特徴は一つの陸域セルを任意の数・大きさのサブセルに分割できることである。この機能を使うことにより、一つのセルの中に混在する土地利用や植生を扱うことができる。

まず、灌漑について説明する。陸面過程サブモデルが採用するバケツモデルでは蒸発効率 β （つまり、実蒸発散量(E)の可能蒸発散量(Epot)に対する比）と土壤水分指数²⁸ θ の間に以下の関係があると仮定している。

$$\begin{cases} \beta = \theta/0.75 & \theta < 0.75 \\ \beta = 1 & 0.75 \leq \theta \end{cases} \quad (13-1)$$

そこで、土壤水分指数を0.75に保てば、実蒸発散量が可能蒸発散量と等しくなり、作物は水ストレスを受けなくなる。よって、H08において灌漑とは作物栽培期間中、土壤水分指数を0.75に保つために降水以外の水を土壤に供給することと定義する。また、灌漑用水需要とは、栽培期間中、灌漑農地の土壤水分指数を0.75に保つための水の量とする。こうして求められた灌漑用水需要は「正味の灌漑用水需要」と呼ばれ、先行研究によると世界で1000~1500 km³/yrの値をとる。世界の灌漑農地面積がおよそ2.50x10⁶ km²なので、単位面積あたりの灌漑用水需要は平均で400~600mm/yrということになる。

次にサブセルへの分割について説明する。H08では一つの計算セルを任意の数に分割することができる。こうしてできたサブセルは独立した状態量やフラックスを持つことができる。ただし、入力気象データはどのサブセルにも同じものが与えられる。このようにサブセルを扱えるようにすることをモザイク化するともいう。さて、上記の灌漑の計算を行うに当たり、少なくとも2つのサブセルが必要になる。すなわち、セル全体の面積に対する灌漑農地面積の割合を持つ灌漑農地サブセルとそれ以外の土地利用のサブセルに分ける必要がある。この状態で上記のような灌漑を実施すると、灌漑農地サブセルはそれ以外のサブセルに比べ、土壤水分が大きく、また蒸発も大きくなることになる。標準のH08では、1つのセルは4つに分類されている。すなわち、2期

²⁸ ここではしおれ点が0、圃場容水量が1として土壤水分量を正規化した値を指すものとする。

作も行う灌漑農地、1 期作しか行わない灌漑農地、1 期作しか行わない天水農地、それ以外の土地利用である。4 つのサブセルについて、独立に計算が行われることになる。

13.2 結合モデルの計算過程

結合モデルの計算過程は次のようなものである。

- 1 計算設定を定義した `namelist` のファイル名を読み込む
- 2 `namelist` を読む (陸面過程、河川、作物成長、人間活動の 4 つ)
- 3 地図・パラメータファイルを読む (陸面過程、河川、作物成長、人間活動の 4 つ)
- 4 状態量を初期化する (陸面過程、河川、人間活動)
- 5 時間ループを開始する
 - 5.1 スピンアップ用の変数を与える。
 - 5.2 入力気象データを読む
 - 5.3 環境用水データを読む
 - 5.4 栽培・灌漑フラグを立てる (サブルーチン `calc_flgcrp` を呼ぶ)。
 - 5.5 灌漑をする (サブルーチン `calc_irgapp` を呼ぶ) [サブセル計算あり]
 - 5.6 ダムの水需要を計算する (サブルーチン `calc_damdem` を呼ぶ)
 - 5.7 ダムの放流量を計算する (サブルーチン `calc_resope` を呼ぶ)
 - 5.8 陸面過程を計算し (サブルーチン `calc_leakyb` を呼ぶ)、結果をファイルに出力する [サブセル計算あり]
 - 5.9 温暖化計算時 (第 1 4 章参照) の気象データをファイルに出力する
 - 5.10 下向き短波放射を日単位に変換する
 - 5.11 人間活動を含む河川過程を計算する (サブルーチン `calc_humact` を呼ぶ)
 - 5.12 河川、貯水池操作、中規模貯水池、取水量データをファイルに出力する。
 - 5.13 作物成長を計算する (サブルーチン `calc_crpyld` を呼ぶ)
 - 5.13.1 サブセルの土地利用に応じて 1 期作と 2 期作を区別し、栽培・灌漑フラグと作物タイプを与える。
 - 5.13.2 サブセルごとに気象データ、状態量データを与える
 - 5.13.3 サブルーチン `calc_crpyld` を呼ぶ
 - 5.13.4 収穫日を迎えた場合、収穫の情報 (収量や収穫日) を配列に記録した後、状態量を再びゼロに戻す。
 - 5.13.5 サブセルごとに状態量を配列に記録する
 - 5.13.6 1 2 月 3 1 日に収穫の情報をファイルに出力する
 - 5.14 栽培を強制終了するフラグの配列 (`i2flgculkiller` を初期化する)
- 6 スピンアップ終了条件を満たしているか判断する。
- 7 計算中に水収支異常、熱収支異常、収束不可能が起きた地点と回数を入力する。

13.3 結合モデルの前処理

1. cpl/pre/に移動する。
2. prep.sh を編集、実行する。この結果、初期値とパラメータファイルが dam/ini と dam/dat に用意される。

表 13-1 状態量に関する変数の一覧。

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------|----------|----|
| DAMSTO | 大規模ダム貯水量 | Kg |
| PNDSTO | 中規模ダム貯水量 | Kg |

13.4 結合モデルの本計算

結合モデルを利用すると様々な数値実験が可能である。しかし、ここでは2つの実験のみを紹介する。一つ目は N_C_実験である。これは仮想的で無尽蔵な水源（Non-local and non-renewable blue water）があるとして、農業用水の水需要は完全に満たされるとみなした実験である（詳細は Hanasaki et al. (2008b; 2010)を参照のこと）。この N_C_実験を行うことで、世界の潜在的な農業用水需要を知ることができる。二つ目は LECD 実験である。これは H08 の全ての機能を有効にし、農業・工業・生活用水の水需要は河川のみから供給されるとみなした実験である。この LECD 実験を行うことで、取りたい時に取りたい量の水を河川から取れるか、を全世界について $1^\circ \times 1^\circ$ の解像度で求めることが可能になる。

1. cpl/bin/に移動する。
2. main.sh を編集し、N_C_実験を実行する。²⁹設定する項目は表 13-2～表 13-6 にある。N_C_実験の設定の特徴は次のとおりである。
 - RUN を”N_C_”とする。
 - 貯水池操作サブモデルを無効にする。すなわち、“Input for reservoirs (Edit here)”にある設定項目を全て”NO”にする。
 - 仮想的な無尽蔵な水源 Non-local and non-renewable groundwater を有効にする。すなわち、“Parameter for NNBW (Edit here)”にある OPTNNB を”yes”にする。
3. cpl/pst に移動し、calc_mean.sh を実行したのち、cpl/bin に戻る。
4. map/bin/main_dam.sh（第6章）を実行していることを確認する。
5. main.sh を編集し、LECD 実験を実行する。³⁹LECD 実験の設定の特徴は次のとおりである。
 - RUN を”LECD”とする。
 - 貯水池操作サブモデルを有効にする。すなわち、DAMID_, DAMPRP, DAMCAP, DAMMON1ST, DAMALC, DAMRIVOUTFIX, DAMDEMAGRFX,MSRCAP, MSRAFC に有効なファイル名を与える。なお、DAMSRF だけは”NO”のままでよい。この部分のシェ

²⁹ FTCS スキームで計算を行う場合の方法は以下のとおりである。

1. cpl/bin に main_ftcs.f, main_ftcs.sh の2つのファイルがあり、全てコンパイルされていることを確認する。
2. main_ftcs.sh を開き、N_C_実験に合わせて基本設定を編集する。この時、SECINT（秒間隔）が十分に短い値になるように注意する。
3. main_ftcs.sh を実行し、正常に計算が行われたことを確認したら、cpl/pst/calc_mean.sh の基本設定を確認し実行する。
4. LECD 実験も同様に main.sh を main_ftcs.sh に置き換えて実行する。

ルスクリプトを良く見てほしい。必要な記述はされており、#を8つ取り除くだけで済むはずである。

- 仮想的な無尽蔵な水源 Non-local and non-renewable groundwater を無効にする。すなわち、”Parameter for NNBW (Edit here)”にある OPTNNB を”no”にする。これにより、灌漑地であっても、河川から取水できない場合は作物に水ストレスがかかる。

表 13-2 モザイクに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|------------|---------------------------|----|
| NOFMOS | Number of mosaic: モザイクの総数 | - |
| ARAFRC | Areal fraction: モザイクの面積割合 | - |
| OPTLNDUSE# | Land use: モザイク#の土地利用 | - |

表 13-3 モザイクの土地利用の一覧

| 選択肢 | 説明 |
|-----|------------------------------|
| sci | Single crop irrigated: 1期作灌漑 |
| dci | Double crop irrigated: 2期作灌漑 |
| scr | Single crop rainfed: 1期作天水 |
| non | Non agricultural land: 農地以外 |

表 13-4 モデルパラメータに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|-----------|--|----------------------|
| DAYADVIRG | Days applying advanced irrigation: 事前灌漑供給日数。 | Day |
| FCTPAD | Factor for paddy: 水田灌漑の土壤水分目標 | - |
| FCTNONPAD | Factor for other than paddy: 水田以外の農地の土壤水分目標 | - |
| KNORM | k_{norm} : Hanasaki et al. (2006)の α | - |
| OPTKRLS | k_{rls} : Hanasaki et al. (2006)の k_{rls} を有効にするかどうか | yes/no |
| OPTDAMRLS | Reservoir release: 放流パターン。基本的に常に H06 とすること。 | H06/M98/nokrls/nodem |
| OPTDAMWBC | Reservoir water balance calculation: サブルーチン内部での水収支計算を有効にするかどうか。常に no とすること(廃止予定) | yes/no |
| OPTNNB | Non-local and non-renewable blue water: Hanasaki et al. (2010)で導入された無尽蔵の仮想的な水源 Non-local and non-renewable blue water を有効にするかどうか | yes/no |
| OPTHVSDOY | Harvesting day of year: 収穫日を固定する | Free |

か、計算して求めるか

表 13-5 入力地図データに関する変数の一覧

| シェル変数 | 説明 | 単位 |
|--------------|---|--------------------|
| PLTDOY# | Planting date of year: #期作の作付日 | DOY |
| HVSDOY# | Harvesting date of year: #期作の収穫日 | DOY |
| CRPTYP# | Crop type: #期作の作物タイプ | - |
| ARAFRC# | Areal fraction: モザイク#の面積割合 | - |
| DEMIND | Industrial water demand: 工業用水需要(消費ベース) | kg s ⁻¹ |
| DEMDOM | Domestic water demand: 生活用水需要(消費ベース) | kg s ⁻¹ |
| ENVFLW | Environmental flow requirement: 環境用水 | kg s ⁻¹ |
| DAMID | Reservoir ID: 大規模貯水池ID | - |
| DAMMON1ST | The 1 st month of the operating year 大規模貯水池 操作年の開始月 | - |
| DAMCAP | Reservoir capacity: 大規模貯水池総貯水容量 | kg |
| DAMSRF | Reservoir surface area: 大規模貯水池表面積 | m ² |
| DAMALC | Allocation coefficient (k _{alc}): 水需要量割り当て | - |
| DAMRIVOUTFIX | Mean annual river flow 平年の流入量 | kg s ⁻¹ |
| DAMDEMAGRFX | Mean annual agricultural water demand: 平年の農 業用水需要 | kg s ⁻¹ |
| PNDCAP | Medium sized reservoir capacity: 中規模貯水池の 貯水容量 | kg |

表 13-6 出力データに関する変数の一覧

| 変数名 | 説明 | 単位 |
|-----------|--|--------------------|
| DAMINF | Inflow to reservoirs: 大規模貯水池流入量 | kg s ⁻¹ |
| DAMOUT | Outflow from reservoirs: 大規模貯水池放流量 | kg s ⁻¹ |
| DAMDEM | Water demand for reservoir: 大規模貯水池に要求される需要 | kg s ⁻¹ |
| PNDOUT | Outflow from medium sized reservoir: 中規模貯水池放流量 | kg s ⁻¹ |
| DEMAGR | Agricultural water demand: 農業用水需要量 | kg s ⁻¹ |
| SUPAGR | Agricultural water supply: 農業用水供給量 | kg s ⁻¹ |
| SUPIND | Industrial water supply: 工業用水供給量 | kg s ⁻¹ |
| SUPDOM | Domestic water supply: 生活用水供給量 | kg s ⁻¹ |
| SUPAGRIV | Agricultural water supply from river: 河川からの農業用水供給量 | kg s ⁻¹ |
| SUPINDRIV | Industrial water supply from river: 河川からの工業用水供給量 | kg s ⁻¹ |
| SUPDOMRIV | Domestic water supply from river: 河川からの生活用水供給量 | kg s ⁻¹ |
| SUPAGRPND | Agricultural water supply from medium sized reservoir: | kg s ⁻¹ |

| | | |
|-----------|--|--------------------|
| | 中規模貯水池からの農業用水供給量 | |
| SUPINDPND | Industrial water supply from medium sized reservoir: | kg s ⁻¹ |
| | 中規模貯水池からの工業用水供給量 | |
| SUPDOMPND | Domestic water supply from medium sized reservoir: | kg s ⁻¹ |
| | 中規模貯水池からの生活用水供給量 | |
| SUPAGRNNB | Agricultural water supply from NNBW: | kg s ⁻¹ |
| | NNBWからの農業用水供給量 | |
| SUPINDNNB | Industrial water supply from NNBW: | kg s ⁻¹ |
| | NNBWからの工業用水供給量 | |
| SUPDOMNNB | Domestic water supply from NNBW: | kg s ⁻¹ |
| | NNBWからの生活用水供給量 | |

13.5 結合モデルの後処理

結合モデルの結果を利用した解析に移る前に、水収支だけは確認しよう。

1. `cpl/pst/`に移動する。
2. `list_watbal.sh` を編集、実行する³⁰。

³⁰ 全球計算の場合、河川の水収支が約 4km³ (0.01%)閉じなくなってしまう場合がある。原因の特定と対応がまだできていない。

第 14 章

応用的な使い方

この章では応用的な使い方をいくつか紹介する。

14.1 温暖化

2018 年現在、地球温暖化に対する社会の関心は非常に大きい。H08 も地球温暖化による世界の水資源への影響評価に応用することを前提に設計が進められてきた。

モデルを使った温暖化の影響評価とは何だろうか？開発者の見解は、「主に気象データの変化に対するモデル出力の応答を見ること」というものである。H08 においても同様であり、利用者が「温暖化した世界」を表した 8 つの気象データ（表 7-1）を用意し、また必要に応じて他に地図データも用意し、H08 に与えれば、温暖化の影響評価が実施できる。一般に、「温暖化した世界」を表した気象データを気候シナリオと呼ぶ。

気候シナリオの作成方法はこれまでに数え切れないほど出版されてきたが（飯泉ら(2010)によくまとまっている）、年々高度化してきている。10 年ほど前であれば、モデル開発者が自ら簡便な気候シナリオを作成したものだったが、現在は気候シナリオ開発の専門家チームが大規模なデータ処理を行って作成し、多くの人に配布するというのが主流である（例えば、花崎ら(2014)や）。ここでは、Inter Sectoral Impact Model Intercomparison Project Fast Track ((ISIMIP-FT; Hempel et al., 2013)という全球気候シナリオを利用した温暖化実験について述べる。

- 1 「全球水資源モデル入出力データサーバ」³¹から ISIMIP-FT データを切り出しする。条件は表 14-1 に示したものとする。
- 2 `met/pre` に移動し、`prep_ISIMIPFT.sh` を実行することにより、まず、過去について気象データを取得する。`YEARMIN=1979`, `YEARMAX=1979` と設定する。なお、`PID1` と `PID2` にはダウンロードページに表示されるプロセス ID を与える。この結果、`met/dat` の各変数のディレクトリに `meschs1_1979mmdd.hlf` という気象データファイルが用意される。
- 3 同じく、`YEARMIN=2079`, `YEARMAX=2079` と設定することで、将来（RCP8.5 シナリオ）についても気象データを取得する。この結果、`met/dat` の各変数のディレクトリに `mesc851_2079mmdd.hlf` という気象データファイルが用意される。
- 4 ISIMIPFT は降水量(`pr`)と降雪量(`prsn`)のデータが配布される。そこで、`prep_Rainf.sh` を実行して降雨量を用意する。まずは、`PRJ=mesc`; `RUN=hs1_`; `YEARMIN=YEARMAX=1979` とすることで、過去についてデータを用意する。
- 5 同じく、`PRJ=mesc`; `RUN=851_`; `YEARMIN=YEARMAX=2079` とすることで、将来についてデータを用意する。
- 6 `Ind/bin/`に移動し、`main.sh` の”Meteorological input”を編集する。すなわち、標準では湿度は比湿で与えるため、`QAIR` にはファイル名が、`RH` には `NO` が入っている。しかし、温暖化実験で湿度は相対湿度で与えるので、`QAIR` を `NO` にし、`RH` にファイル名を指定する。

³¹ <http://h08.nies.go.jp> (user: cmip5; password: CMIP5)

- 7 過去(1979年)について実験するため、main.shを編集する。PRJ=mesc (MIROC ESM CHEMの略で入力データと同じ)、RUN=LR__、PRJMET=mesc、RUNMET=hs1_、YEARMIN=YEARMAX=1979とし、main.shを実行する。
- 8 将来(2079年)について実験するため、main.shを編集する。PRJ=mesc (MIROC ESM CHEMの略で入力データと同じ)、RUN=LR__、PRJMET=mesc、RUNMET=851_、YEARMIN=YEARMAX=2079とし、main.shを実行する。
- 9 riv/bin/main.sh、crp/bin/main.shとcpl/bin/main.shも同様に実行できる。
- 10 cpl/pst/に移動し、list_watbal.shを編集し、実行する。

表 14-1 取得するデータ

| Options | Settings |
|---------|--|
| データセット | MIROC-ESM-CHEM/mesc (standard) |
| アンサンブル | - |
| シナリオ | Historical and rcp8.5 |
| 時間解像度 | Daily |
| 変数 | rlds, rsds, sfcWind, ps, prsn, pr, hurs, tas |
| 年 | 1979-1979 for historical, 2079-2079 for rcp8.5 |
| 空間領域 | Original |
| マスク | 使用しない |
| 期間平均 | 算出しない |
| ファイル種類 | NetCDF |
| 圧縮 | Yes |

14.2 領域モデル

H08 はもともと全球モデルとして開発されてきた。しかし、H08 は、任意の領域について、領域モデルとして利用することも可能である。そのやり方は基本的に次のとおりである。

1. 研究対象地域を決定し、表 5-1 で示した空間に関するパラメータを決定する。
2. シェルスクリプトの” Geographical settings” の部分を注意深く編集しながら、6 章以降の作業を行う。
3. H08 のソースコードとシェルスクリプトには計算対象領域、空間解像度の依存性はない。つまり、表 5-1 の設定事項を変更すれば、その領域、その解像度で動作する。ただし、唯一の例外として、main.f だけは配列の大きさ、つまり表 5-1 の NL がソースコードに書き込まれている。よって、解像度を変えるときは、main.f を編集し、parameter (n0l=259200) の部分を変更し、再コンパイルしなければならない。

補遺1

H08 Analysis Tools

H08 からは大量のバイナリ・テキストデータが出力される。H08 Analysis Tools はそれらのデータを効率よく処理するためのプログラム群である。H08 Analysis Tools を利用すると、H08 Format 形式の出力ファイルを容易に描画・計算できる。もちろん、バイナリデータは GrADS などのソフトウェアで、テキストデータは Microsoft Excel などのソフトウェアで解析・図化することもできる。

A1.1 別冊

詳細については、「H08 マニュアル解析編」(斉藤と花崎, 2012) を参照のこと。

補遺2

コーディングルール

H08 は大量の Fortran ソースコードから構成されている。そのソースコードは一定のルールに従って記述されている。ここではその基本を解説しよう。

A2.1 変数の名前の付け方

変数名には次のルールがある。まず、先頭の文字は変数の型を表す。i, r, c, n, p, s のいずれかであり、それぞれ整数変数(integer)、実数変数(real)、文字変数(character)、整数定数(number)、実数定数(parameter)、文字定数(string)であることを示す。次の整数は配列の次元を表す。0, 1, 2, 3 のいずれかであり、それぞれ変数、1次元配列、2次元配列、3次元配列であることを示す。その後が続くのが変数の略称である。例外もあるが、原則的に、変数は3文字で表す。例えば、irg は irrigation を、ara は area を指す、などである。以上をまとめると、例えば rlirgara なら、実数の1次元配列で、灌漑面積(irrigated area)を表すという具合である。

A2.2 時間ループ

H08 では、main プログラムだけが時計の針を進めることができる。通常、main プログラムには次の時間ループがある。

```
do i0year=i0yearmin,i0yearmax
  do i0mon=i0monmin,i0monmax
    do i0day=1,i0daymax
      do i0sec=i0secint,n0secday,i0secint

        end do
      end do
    end do
  end do
end do
```

ループはそれぞれ年、月、日、秒を進める。年、月、日は1単位ずつ進む。秒は i0secint ずつ、1日の秒数である n0secday (=86400 sec)まで進む。例えば i0sec=10800[sec]=3[hour]の場合、3時間ずつ秒が進んでいくことになる。

A2.3 コメント文

コメント文は c から始める。あまり知られていないが、コメント文は d から始めることもできる。この場合、コンパイルオプションによって、d から始まる文章をコメントにも、コードにもすることができる。デバッグを行うときだけ利用するコードは第1カラムが d から始まっている。

A2.4 変数と配列の宣言と初期化

変数や配列は表 A2-1 のような順で宣言される。また、変数や配列は以下のように初期化されている。変数や配列が初期化されていないと、プログラムが異常な動作をすることがある。もし初期化がされていない変数や配列を見つけた場合は連絡してほしい。

表 A2-1 変数と配列の宣言と初期化

| 種類 | 内容 | 初期化 |
|----------------------|------------------------|--------------------------|
| parameter (array) | 配列の大きさに関する定数 | 引数から初期化される |
| parameter (physical) | 物理定数 | コードに書き込み済み |
| parameter (default) | コード全体で共通に使われる定数 | コードに書き込み済み |
| index (array) | 配列のインデックス | ループ開始時に初期化される |
| index (time) | 時間のインデックス | ループ開始時に初期化される |
| temporary | 一時変数・配列 | ソースコード開始時にゼロの代入による初期化が必要 |
| function | 関数 | 関数内部で初期化される |
| in (set) | 引数・namelist で与えられる入力変数 | 引数から初期化される |
| in (map) | ファイルから与えられる入力変数 | ファイル読み込み時に初期化される |
| in (flux) | ファイルから与えられる入力変数 | ファイル読み込み時に初期化される |
| state variable | | ファイル読み込み時に初期化される |
| out | ファイルに書き出される出力変数 | ソースコード開始時にゼロの代入による初期化が必要 |
| local | 内部変数 | ソースコード開始時にゼロの代入による初期化が必要 |
| namelist | Namelist | namelist で初期化される |

A2.5 配列の次元

1次元配列は基本的には空間の1次元を持つ配列である。この場合、配列の大きさは(n0l)である。例外は cpl/bin/main.f や crp/bin/main.f に登場する作物パラメータである(r1icnum(n0ram)など)。

2次元配列は基本的には空間と時間の2次元を持つ配列である。この場合、配列の大きさは(n0l,0:n0t)である(n0t が0は瞬時値、1は日平均、2は月平均、3は年平均を表す)。例外は何種類かある。

- cpl/bin/main.f や crp/bin/main.f に登場する作物に関する変数(n0m はモザイク)。例：
r2huna(n0l,0:n0m)
- cpl/bin/main.f や crp/bin/main.f に登場する作物パラメータ(n0swim は作物種)。例：
r2crppar(24,n0swim)

- cpl/bin/main.f に登場する土壌水分目標値 (n0c は栽培回数)。例: r2target(n0l,n0c)
- crp/bin/main.f に登場する気象要素と出力 (n0doy は Day Of Year)。例: r2regfd(0:n0lnd,n0doy)

3次元配列は基本的には空間と時間とモザイクの3次元を持つ配列である。この場合、配列の大きさは(n0l,0:n0t,0:n0m)である。

補遺3

admにあるファイル

本文では登場しなかった adm/bin/にあるファイルについて紹介する。

A3.1 backup.sh

H08 ディレクトリの中にある、ソースコード(拡張子は.fか.F)とシェルスクリプト (拡張子は.sh) のバックアップを取るためのシェルスクリプトである。非常に短時間で終了するので、日々のバックアップに便利である。DIROUT に指定された保存先にファイルがバックアップされる。

A3.2 clean.sh

H08 ディレクトリの中にある全ての out ディレクトリを検索し、条件を満たすファイルを削除するシェルスクリプトである。例えばデバッグ中に作成されたファイルを一括消去する際に便利である。

A3.3 count.sh

H08 ディレクトリの中にある全てのソースコード(拡張子は.fか.F)とシェルスクリプト (拡張子は.sh) の行数を数えるシェルスクリプトである。「H08 のソースコードは全部で何行くらい？」という興味本位の質問に答えるときに便利である。

A3.4 installer.sh

H08 のインストーラ(install.sh)を生成するシェルスクリプトである。backup.sh を実行した後で実行すると、バックアップファイルにインストーラが付加される。誰かに H08 のソースコードを渡すときに便利である。

参考文献

- Bhumralkar, C. (1975), Numerical experiments on the computation of ground surface temperature in an atmospheric general circulation model, *J. Appl. Meteorol.*, 14, 1246-1258.
- Dirmeyer, P. A., X. A. Gao, M. Zhao, Z. C. Guo, T. K. Oki, and N. Hanasaki (2006), GSWP-2 - Multimodel analysis and implications for our perception of the land surface, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 87, 1381-1397.
- Döll, P., and S. Siebert (2002), Global modeling of irrigation water requirements, *Water Resour. Res.*, 38, 1037, doi:10.1029/2001WR000355.
- Döll, P., and K. Fiedler (2008), Global-scale modeling of groundwater recharge, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12(3), 863-885, doi:10.5194/hess-12-863-2008.
- Hanasaki, N., S. Kanae, and T. Oki (2006), A reservoir operation scheme for global river routing models, *J. Hydrol.*, 327, 22-41.
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, and K. Tanaka (2007a), An integrated model for assessment of global water resources. Part 1: Input meteorological forcing and natural hydrological cycle modules, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 4, 3535-3582.
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, and N. Shirakawa (2007b), An integrated model for assessment of global water resources. Part 2: Anthropogenic activities modules and assessments, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 4, 3583-3626.
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen, and K. Tanaka (2008a), An integrated model for the assessment of global water resources - Part 1: Model description and input meteorological forcing, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1007-1025.
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen, and K. Tanaka (2008b), An integrated model for the assessment of global water resources - Part 2: Applications and assessments, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1027-1037.
- Hanasaki, N., T. Inuzuka, S. Kanae, and T. Oki (2010), An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model, *J. Hydrol.*, 384, 232-244.
- Hanasaki, N., S. Yoshikawa, Y. Pokhrel, and S. Kanae (2018), A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22(1), 789-817.
- 花崎直太 (2006), 人間活動を考慮した全球水循環モデルの開発と世界の水資源の時間変動の推定に関する研究, 136 pp, 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻学位論文.
- 花崎直太, 新田友子 (2009), UNIX/FORTRAN/Bourne Shell Script 自習テキスト, 60 pp, 国立環境研究所, つくば. (<https://sites.google.com/site/h08model/>)
- 花崎直太, 山本隆広 (2010), H08 マニュアル利用編, 64 pp, 国立環境研究所, つくば.
- 飯泉仁之直, 西森基貴, 石郷岡康史, 横沢正幸 (2010), 統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門, *農業気象*, 66, 131-143.
- 池淵周一, 椎葉充晴, 宝馨, 立川康人 (2006), エース水文学, 朝倉書店.
- 近藤純正 (1994), 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—, 朝倉書店.
- 近藤純正 (2000), 地表面に近い大気科学—理解と応用—, 東京大学出版会.
- Krysanova, V., F. Wechsung, J. Arnold, R. Srinivasan, and J. Williams (2000), SWIM (Soil and Water

- Integrated Model) User Manual, Potsdam Institute for Climate Impact Research.
- Leff, B., N. Ramankutty, and J. A. Foley (2004), Geographic distribution of major crops across the world, *Global Biogeochem. Cy.*, 18, Gb1009, doi:10.1029/2003GB002108.
- Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, T. Henrichs, and F. Kaspar (2006), Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis, *Climatic Change*, 75, 273-299.
- Lehner, B., et al. (2011), High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management, *Front Ecol Environ*, 9(9), 494-502, doi:10.1890/100125.
- Manabe, S. (1969), Climate and the ocean circulation 1. The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface, *Mon. Weather Rev.*, 97-11, 739-774.
- Monfreda, C., N. Ramankutty, and J. A. Foley (2008), Farming the Planet. Part 2: The Geographic Distribution of Crop Areas and Yields in the Year 2000, *Glob. Biogeochem. Cycles*, GB1022, doi:10.1029/2007GB002947.
- Oki, T., T. Nishimura, and P. Dirmeyer (1999), Assessment of annual runoff from land surface models using Total Runoff Integrating Pathways (TRIP), *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 77, 235-255.
- Robock, A., K. Y. Vinnikov, C. A. Schlosser, N. A. Speranskaya, and Y. K. Xue (1995), Use of Midlatitude Soil-Moisture and Meteorological Observations to Validate Soil-Moisture Simulations with Biosphere and Bucket Models, *J. Climate*, 8, 15-35.
- 斉藤裕佑, 花崎直太(2012), H08 マニュアル解析編, 80pp, 国立環境研究所, つくば.
- Siebert, S., P. Döll, J. Hoogeveen, J. M. Faures, K. Frenken, and S. Feick (2005), Development and validation of the global map of irrigation areas, *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 9, 535-547.
- 白川直樹 (2005), 水文気候の季節性から推定される環境用水のグローバル必要量, *水工学論文集*, 49, 391-396.
- Weedon, G. P., G. Balsamo, N. Bellouin, S. Gomes, M. J. Best, and P. Viterbo (2014), The WFDEI meteorological forcing data set: WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data, *Water Resour. Res.*, 50(9), 7505-7514, doi:10.1002/2014WR015638.