

H08 マニュアル

利用編

花崎 直太
山本 隆広



謝辞

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。

バージョン情報

H08 のバージョン情報は <http://h08.nies.go.jp/> をご覧ください。

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

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.....	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.....	19
6.4 国境・人口情報の作成.....	21
6.5 作物成長サブモデルのための地図情報の作成.....	21
6.6 貯水池サブモデルのための地図情報の作成.....	22
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	26
7.1 気象データ.....	26
7.2 気象データの準備方法.....	26
第8章 陸面過程サブモデル	28
8.1 陸面過程サブモデルの仕組み.....	28
8.2 陸面過程サブモデルの計算過程.....	29
8.3 陸面過程サブモデルの実行方法1：前処理.....	30
8.4 陸面過程サブモデルの実行方法2：本計算.....	31
8.5 陸面過程サブモデルの実行方法3：後処理.....	34
第9章 河川サブモデル	36
9.1 河川サブモデルの仕組み.....	36
9.2 河川サブモデルの計算過程.....	36
9.3 河川サブモデルの実行方法1：前処理.....	37
9.4 河川サブモデルの実行方法2：本計算.....	37
9.5 河川サブモデルの実行方法3：後処理.....	38
第10章 作物成長サブモデル	39
10.1 作物成長サブモデルの仕組み.....	39
10.2 作物成長サブモデルの計算過程.....	43
10.3 作物成長サブモデルの実行方法1：前処理.....	44
10.4 作物成長サブモデルの実行方法2：本計算.....	44
10.5 作物成長サブモデルの実行方法3：後処理.....	45
第11章 貯水池操作サブモデル	48
11.1 貯水池操作サブモデルの仕組み.....	48
11.2 貯水池操作サブモデルの計算過程.....	49
11.3 貯水池操作サブモデルの実行方法1（前処理）.....	50
11.4 貯水池操作サブモデルの実行方法2（本計算）.....	50
11.5 貯水池操作サブモデルの実行方法3（後処理）.....	51
第12章 環境用水サブモデル	52
12.1 環境用水サブモデルの仕組み.....	52
12.2 環境用水サブモデルの計算過程.....	52
12.3 環境用水サブモデルの実行方法1（前処理）.....	53
12.4 環境用水サブモデルの実行方法2（本計算）.....	53
12.5 環境用水サブモデルの実行方法3（後処理）.....	53
第13章 統合モデル	54
13.1 結合モデルの仕組み.....	54
13.2 結合モデルの計算過程.....	55

13.3 結合モデルの前処理.....	56
13.4 結合モデルの本計算.....	56
13.5 結合モデルの後処理.....	59
第14章 応用的な使い方	60
14.1 温暖化.....	60
14.2 領域モデル.....	62
補遺1 H08 ANALYSIS TOOLS	63
A1.1 別冊	63
補遺2 コーディングルール	64
A2.1 変数の名前の付け方	64
A2.2 時間ループ	64
A2.3 コメント文	64
A2.4 変数と配列の宣言と初期化.....	65
A2.5 配列の次元	65
補遺3 ADMにあるファイル	67
A3.1 BACKUP.SH	67
A3.2 CLEAN.SH	67
A3.3 COUNT.SH	67
A3.4 INSTALLER.SH.....	67
参考文献	68

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。この冊子で紹介する H08 モデルは、この Hanasaki et al. (2010)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。これらを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、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., Kanae, S., Oki, T., Masuda, K., Motoya, K., Shirakawa, N., Shen, Y. and Tanaka, K., 2008. An integrated model for the assessment of global water resources - Part 1: Model description and input meteorological forcing. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12(4): 1007-1025

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。

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、UNIX、Linux、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。
2. Fortran コンパイラが使えること³。

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があるのは Sun Microsystems の Sun Fire V440 (UltraSPARC IIIi 1.593GHz, Solaris 9), SGI の Altix 450(Intel Itanium 2, RedhatLinux), Dell の PowerEdge6850 (Intel Xeon, RedHat Linux), Apple Macbook Pro 13inch (Intel Core 2 Duo, MacOS10.5)などである。

³ これまでに稼働実績のあるコンパイラは商用の Intel Fortran Compiler と Sun Fortran Compiler、フリーソフトの gfortran と g95 の4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この 1 つのファイルをコピーする。
2. 圧縮ファイルを解凍し、書庫ファイルを伸張する。

```
% gunzip H08_yyyymmdd.tar.gz
% tar xf H08_yyyymmdd.tar
```

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。
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⁴。

シェル変数 LIB では NetCDF の library ファイルへのパスを指定する⁵。

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 byterecl6
```

のように、”-assume byterecl”というオプションを必ず含めること。

⁴ 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。

⁵ 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。

⁶ 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。

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⁷。これによってプログラムが全てコンパイルされる。

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` のコメント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` を参考にすること。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

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)

⁷ 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。

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。

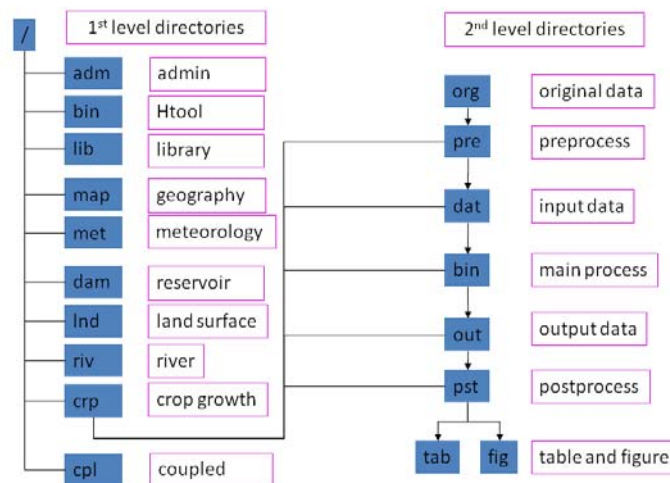


図 4-1 H08 のディレクトリ構造

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_crpuld.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実行の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⁸。

`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⁹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を使う。

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。

⁸ `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・ジャパン)」の第1章を参照のこと。

⁹ 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

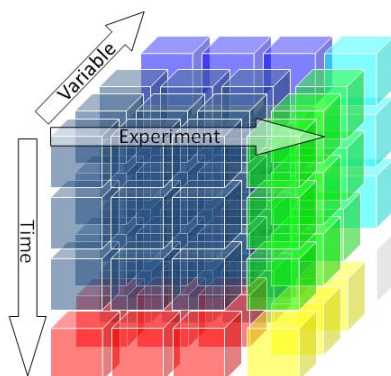
第5章

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。

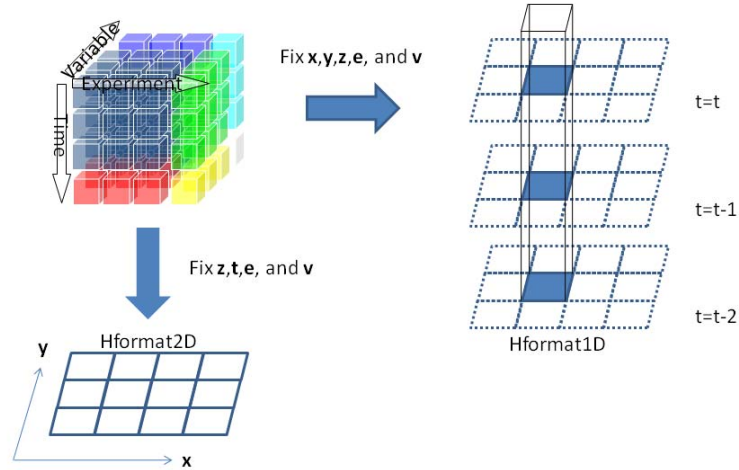


図 5-2 H08 で扱うファイル

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。

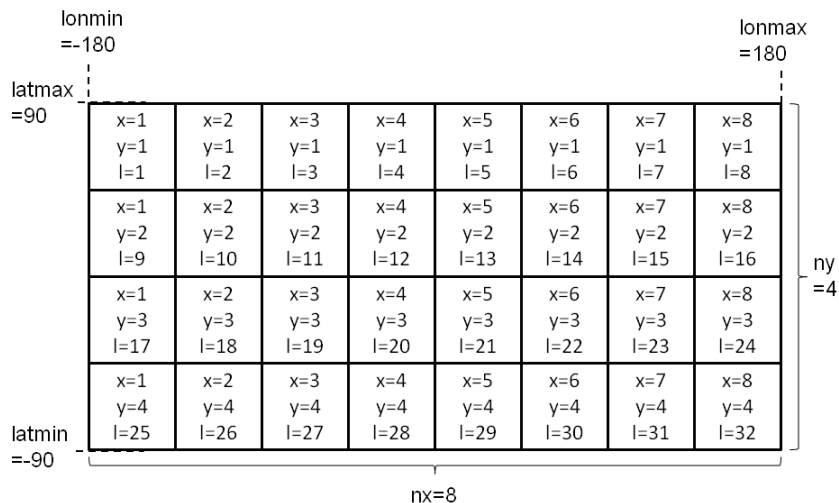


図 5-3 H08 の空間座標

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、海域を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。

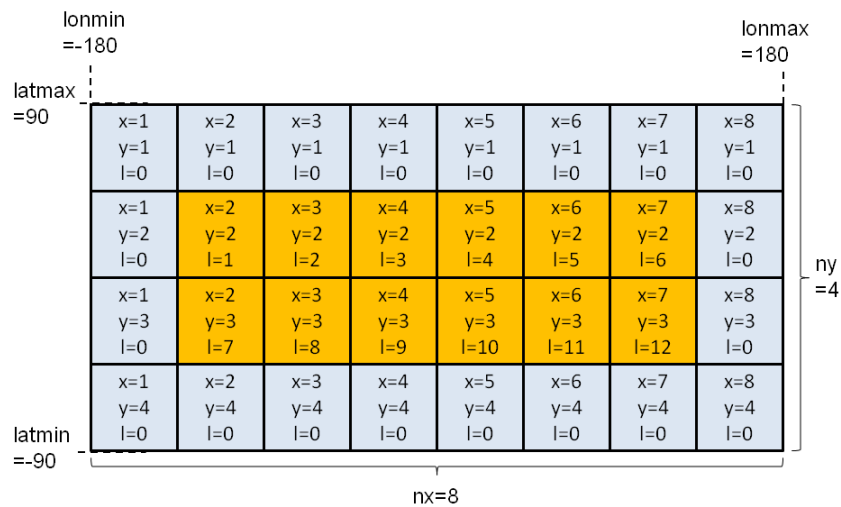


図 5-4 陸域だけに L 座標を与える方法

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10。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。

¹⁰ ただし、H08 の Fortran プログラム内では、年、月、日、時ではなく、年、月、日、秒を使って計算が行われる。このダブルスタンダードを解消すべきか、開発者はまだ悩んでいる。

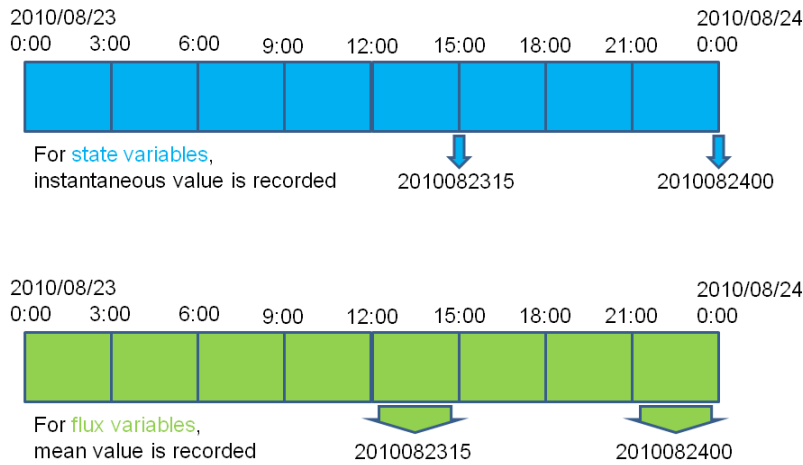


図 5-5 時刻と状態量とフラックスの表す量の関係

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 年間で 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°
.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¹¹。

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

¹¹ 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 座標系に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 を編集する。
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.one.txt と l2y.one.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.one) が map/dat/grd_ara_/ディレクトリに出力される。

・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.one 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.one 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 = 360 x 180 = 64800 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 64800x4=259200 byte となる。ls -l 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.one 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。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/
```

```
% sumone ../../map/dat/grd_ara_/grdara.one
```

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 $5.09 \times 10^8 km^2$ 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、

```
% maxone ../../map/dat/grd_ara_/grdara.one
```

```
% minone ../../map/dat/grd_ara_/grdara.one
```

とすれば、それぞれ $1.23 \times 10^4 km^2$ と $1.09 \times 10^2 km^2$ が得られる。さらに、世界地図が描きたければ、

```
% makecpt -T0/15000000000/5000000000 -Z > temp.cpt
```

```
% one2eps ../../map/dat/grd_ara_/grdara.one temp.cpt temp.eps
```

```
% htconv temp.eps temp.tif rot
```

とすれば、図 6-1 のような図が容易に描ける。

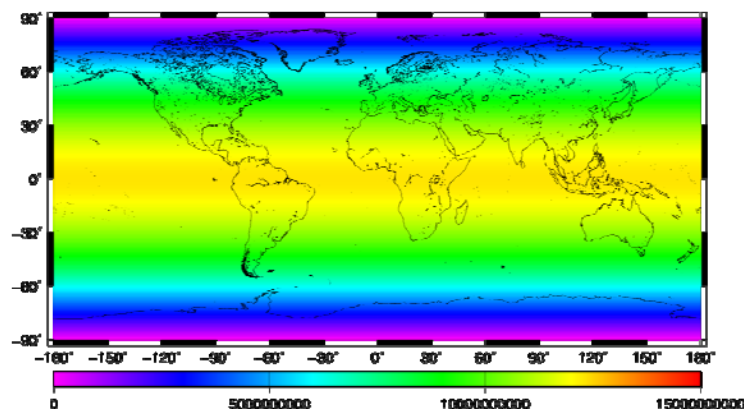


図 6-1 grdara.one を図化したもの [m^2]

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

1. ファイルサーバから map-org-GSWP2.tar.gz を取得する¹²。
2. map/org/ にファイルを置き、圧縮・書庫ファイルを伸張する。map/org/ というディレクトリがない場合は作成する。map/org/GSWP2 というディレクトリができる。
3. map/pre/ に移動する。
4. prep_lnd_GSWP2.sh を編集し、実行する¹³。GSWP2 とは、海陸分布が GSWP2 データに準拠していることを示す。

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.GSWP2.one) 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 one2eps) 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。

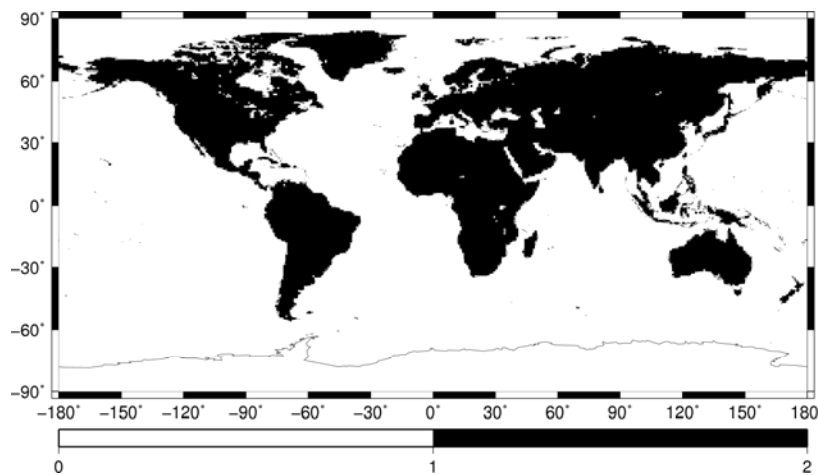
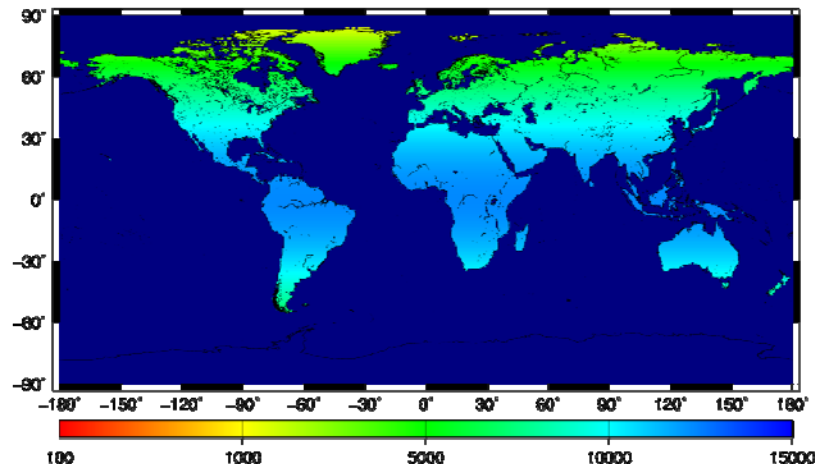


図 6-2 海陸マスク。陸域は 1、海域は 0 を示す。

また陸域面積を格納したファイル (lndara.GSWP2.one) 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。

¹² 0.5 度全球版を実施する時は map-org-WATCH.tar を取得する。

¹³ 0.5 度全球版は prep_lnd_WATCH.sh を実行する。

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_GSWP2.sh を編集し、実行する¹⁴。

この結果、河道流下方向ファイル (flwdir.GSWP2.one) が map/dat/flw_dir_ディレクトリに出力さ

¹⁴0.5 度全球版は prep_riv_WATCH.sh を実行する。

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° 刻みで流下の方角を示す。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 を編集し、実行する。

この結果、まず、河道流下順ファイル (rivseq.GSWP2.one) 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、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 (rivnxi.GSWP2.one) が map/out/riv_nxi_/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.GSWP2.one) 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。

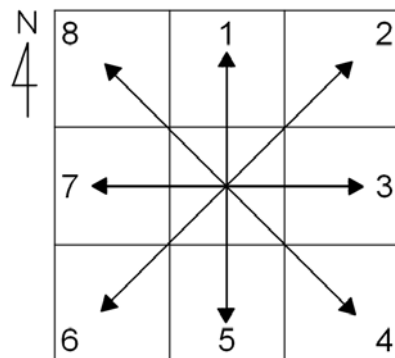


図 6-4 河道流下方向。方向は 0 から 9 までの整数値で表され、0 はそのセルが海域であることを、9 は河口であることを表す。窪地はない。

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.GSWP2.one) 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.GSWP2.one) 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。

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 6-5 に示す4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 6-5 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/pre/prep_map_C05_nat.sh と map/pre/prep_map_C05_pop.sh に従い、map/org/C05 に人口・国境データをダウンロードする。map/dat/nat_cod_に map/dat/nat_cod_/C05_____20000000.txt を作成するのを忘れないようにする¹⁵。
2. map/pre/prep_map_C05_nat.sh を編集し、実行する¹⁶。
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/prep_map_C05_pop.sh を編集し、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際には表 6-5 に示す4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 6-5 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割合	map/dat/hvs_ara_/	-

1. ファイルサーバにアクセスし、h08>data_map にある元データの map-org-DS02.tar.gz を取得し、map/org で解凍する。また、map/pre/prep_crp_R08M08S05.sh にある指示に従い、Ramankutty et al.(2008), Monfreda et al. (2008), and Siebert et al. (2005)のデータをダウンロードする。

¹⁵ シェルスクリプトに記述された方法で、CIESIN による国名表記と国コードの対応を示した C05_____20000000.txt を作成することができる。ただし、6.5 で利用する FAO データの国名表記は CIESIN と異なるため、ファイルに追記する必要がある。ファイルサーバに追記済みの C05_____20000000.txt があるので参考にするとうまい。

¹⁶ 0.5 度全球版は1度全球版と同時に作成される。

2. map/pre/に移動する。
3. prep_crp_R08M08S05.sh を編集し、実行する¹⁷。

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 を編集し、実行する。

これによって、Döll and Siebert (2002)による灌漑農地面積(DS02____00000000.one)、耕作回数(DS02____00000000.one)、灌漑効率(DS02____00000000.one)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 を編集し、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 を編集し、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 6-6 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 6-7 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 6-6 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_/	-

¹⁷ 0.5 度全球版は 1 度全球版と同時に作成される。

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 6-7 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): 各貯水池の支配領域	map/out/dam_d2d_/	-
DAMD2S	Reservoir governing area 2 (dam to sea): 各貯水池の支配領域	map/out/dam_d2s_/	-
DAMUP_	Reservoir number in upper stream: 各地点の上流にある貯水池数の総和	map/out/dam_up_/	-
DAMUPC	Reservoir capacity in upper stream: 各地点の上流にある貯水容量の総和	map/out/dam_upc_/	kg

1. 第12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. ファイルサーバにアクセスし、map-org-H06.tar.gz を取得し、map/org で解凍する。
3. map/pre/に移動する。
4. prep_dam_H06.sh を編集し、実行する。

この結果、map/org/H06 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 を編集し、実行する。

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 (*.one) 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 (*.one) が dam/out/dam_d2d_ および dam/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際には表 6-8 に示す 2 つ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 6-8 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
DEMIND	Industrial water demand: 工業用水需要	map/dat/dem_ind_/	kg/s
DEMDOM	Domestic water demand: 生活用水需要	map/dat/dem_dom_/	kg/s

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

¹⁸ AQUASTAT はファイル出力の書式変更が多いので、うまく対応してほしい。アクセント記号は処理できないので、” Côte d'Ivoire”などに注意する。

●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。利用者が少しだけ設定を変えて 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。H08 をよく理解していない限り、この部分は編集してはならない。利用者がコードやスクリプトを改変し、設定の一貫性を持たせなければならないときにのみ、変更すると良いだろう。ジョブについては上級者だけが改変すべきである。無駄な行はほとんどなく、不用意に編集すると 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つの気象変数とアルベド）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 version3¹⁹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、The second Global Soil Wetness Project(GSWP2; Dirmeyer et al., 2006)の開発した全球気象データについて述べる。GSWP2 では B0 (Dirmeyer et al., 2006)と B1 (Hanasaki et al., 2008a)の2種類の全球気象データが開発されたが、この冊子は後者を利用する²⁰。

表 7-1 気象データ

変数	説明	ディレクトリ	単位
Albedo	Albedo: アルベド	met/dat/Albedo__	-
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 GSWP2 B1 の気象データとアルベドデータを H08 で使う準備をする。具体的には GSWP2 から配布されている NetCDF 形式のデータファイルを 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。

1. met/pre/に移動する。
2. ファイルサーバから GSWP2 データをダウンロードし、met/org/GSWP2B1 に保存する²¹。詳細については prep_GSWP2B1.sh に書いてある指示に従うこと。

¹⁹ http://web.lmd.jussieu.fr/~polcher/ALMA/convention_3.html

²⁰ 一般的に GSWP2 の全球気象データと言えば、同プロジェクトの標準実験用に用意された B0 データのことを指す。しかし、B0 データには全球水収支を考える上で無視することのできない問題がいくつかあり、それらを修正したものが B1 データである。詳しいことは Dirmeyer et al. (2006)や Hanasaki et al. (2008a)を参照のこと。

²¹ 全球 0.5 度版を利用する場合は、WFD (Weedon et al., 2011)を利用すること。

3. `prep_GSWP2B1.sh` を編集し、実行する²²。
4. `prep_GSWP2B1_Albedo.sh` を編集し、実行する²³。

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。

・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(E139.5, N35.5)を取得したい場合は、

```
% cd met/dat/Tair_____
% punchone lonlat ./GSW2B1b_.one3H 1986 1986 139.5 35.5
```

とする。すると、3時間単位の時系列データが画面に出力されるだろう。GSWP2B1 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、このデータを日単位に変換してみよう。このためには、まず H08 Format 2D 形式の3時間データを日データに変換し、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。

```
% mon2yearone ./GSW2B1b_.one3H 1986 1986 ./GSW2B1b_.oneDY
% punchone lonlat ./GSW2B1b_.oneDY 1986 1986 139.5 35.5
```

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、まずは斉藤と花崎(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。

7.3 演習

`met/dat` にある GSWP2 全球気象データを使って、次のことを行え。

1. 世界の任意の陸地の1地点を選び、その緯度と経度を調べよ。
2. `met/dat` のデータを利用し、1 で選んだ地点の気象の時系列グラフを作成せよ。
3. 対応する地点、期間の観測データを入手し、2 で作成した時系列グラフに重ねよ。ここで、GSWP2 データは UTC で表示されていることに注意せよ。
4. 季節単位、日単位、3時間単位で GSWP2 データと観測データを比較し、考察せよ。
5. [難しい]4 までの作業を行うシェルスクリプトを作成せよ。

²² 全球 0.5 度版を利用する場合は、`prep_WFD.sh` を利用すること。

²³ 全球 0.5 度版を利用する場合は、`prep_WFD_Albedo.sh` を利用すること。

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 2 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。第二に、中間流出(subsurface runoff)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) 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 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。水収支に関する状態量は土壌水分量(SoilMoist)と積雪水当量(SWE)の 2 つある。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。ただし、日単位未満 (3 ~ 6 時間単位) の入力気象データに対して、現実的な地表面温度 (AvgSurfT) を計算するため、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。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。下向き短波放射 (SWdown)、下向き長波放射 (LWdown)、気温 (Tair)、比湿 (Qair)、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。

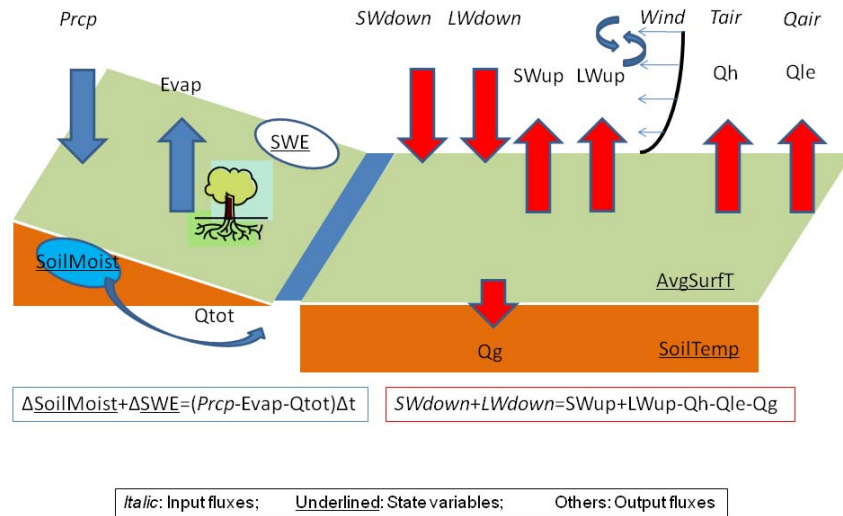


図 8-1 陸面過程サブモデルの模式図

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_nomosaic.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 (スピニアップモード)
 - 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²⁴。
 - 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 スピニ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、前回のスピニアップと比べて、SPNERR 以下の割合しか変化していない場合、スピニ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²⁵。
- 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
 - 8.3 calc_leakyb サブルーチンを呼ぶ

²⁴ 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。

²⁵ SPNRAT と SPNERR の組み合わせによっては永遠にスピニアップが終わらないこともあるので注意。

- 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方法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. Ind/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、Ind/dat にパラメータが、Ind/ini に状態量の初期値が出力される。

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

表 8-2 状態量に関する変数の一覧²⁶。

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

²⁶ 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²⁷。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²⁸。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
RPJ	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	-

²⁷ 空間解像度 0.5 で全球を計算する場合、①PRJ を GSW2 から WFD_に変更すること、②LDBG を 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。

²⁸ 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

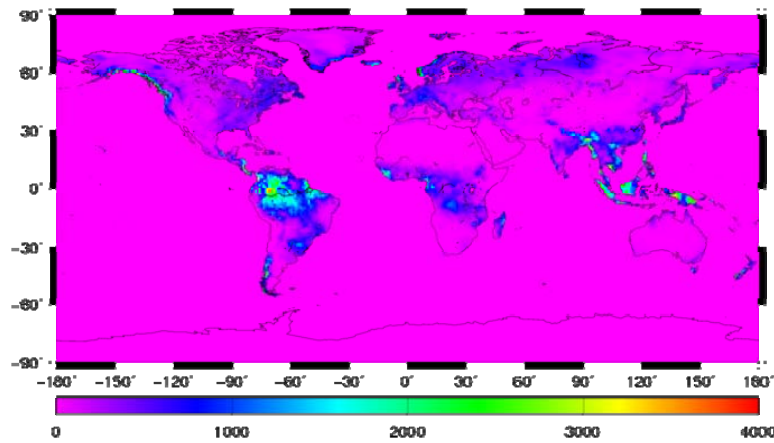
表 8-6 入力地図データに関する変数の一覧。

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、1986年の年間流出量を図 8-2 に示す。

図 8-2 1986 年の年流出量 [mm]²⁹

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³⁰、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 は年単位で水収支の確認を行うプログラムである。このため、雨と雪の年平均ファイルがないと正しく動作しない。met/dat/Rainf__と met/dat/Snowf__を見て、それぞれ年平均ファイルが作られていないときは htime (短縮形で mon2yearone) を利用してあらかじめ作成しておこう。

3. draw_all.sh を編集し、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計算結果を詳細に解析する際に有用だろう。ただし、この draw_all.sh を実行するにはあらかじめ水収支項目を月平均で出力しておく必要がある。

²⁹ 作成方法は以下の通り。

```
% cd lnd/out/Qtot_____
% makecpt -T0/4000/1000 -Z > temp.cpt
% mulone GSW2LR__19860000.one 86400 temp.one
% mulone temp.one 365 temp.one
% one2eps temp.one temp.cpt temp.eps
% htconv temp.eps temp.png rot
```

³⁰ 例えば 1987 年の解析をする場合は、YEAR=1987, MON=00, YEARINI=1986, MONINI=12, YEAREND=1987, MONEND=12 とする。こうする理由は図 5-5 を参照してほしい。

・コラム・4

●スピニングアップ

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「スピニングアップ期間」として解析対象から外し、6年目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。GSWP2 プロジェクトでは1986年～1995年が解析対象期間であったが、1983年～1995年の13年分の気象データが用意されていた。そこで1983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、1995年まで計算し、後半10年を解析対象とする方法などが推奨された。

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。

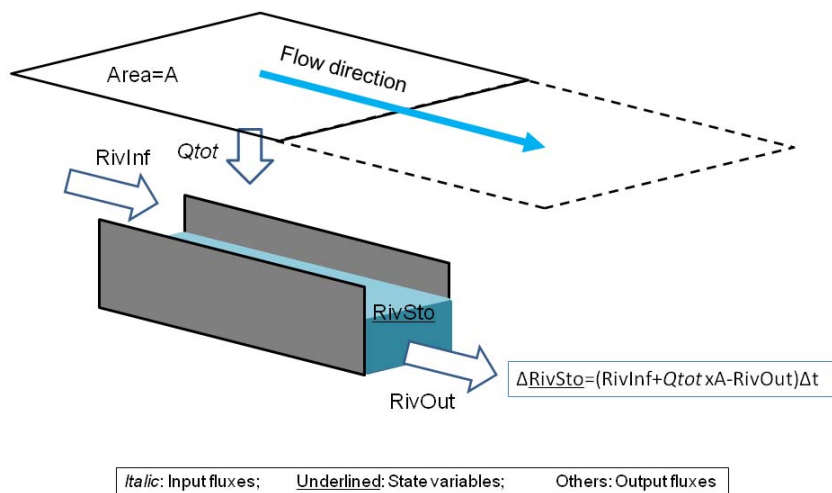


図 9-1 河川サブモデルの模式図

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 (スピナップについては第 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 を編集し、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.sh 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

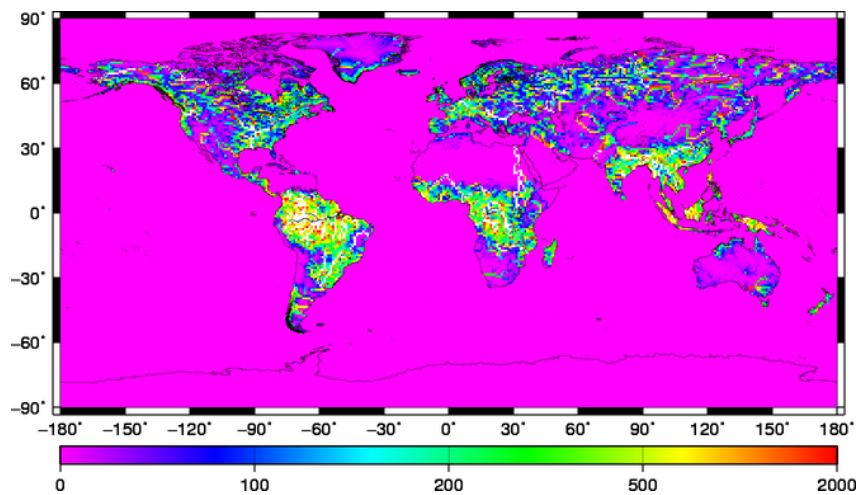
表 9-4 入力地図データに関する変数の一覧

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 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	m

	点から次の下流のセルの中心点までの直線距離。	
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

セル変数	説明	単位
RIVOUT	河川流量	kg s ⁻¹

図 9-2 1986 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。

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。

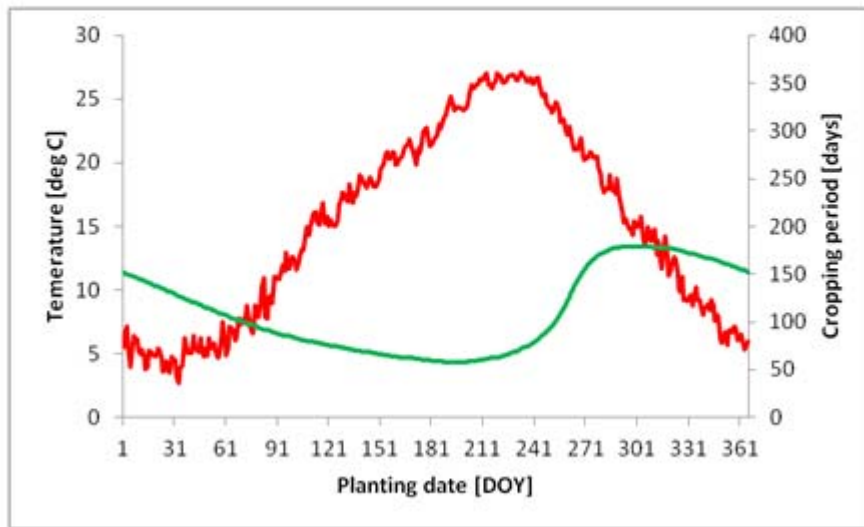


図 10-1 仮想的な場所Aの日平均気温と栽培日数の関係。

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。

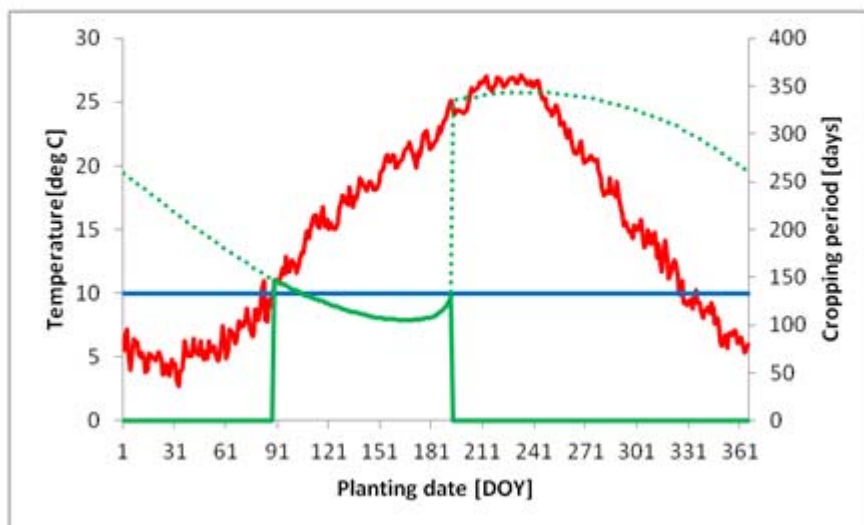


図 10-2 有効積算温度を考慮した場合の日平均気温と栽培日数の関係。

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³¹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³²、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け日を探し、この日をその場所の作付け日、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

³¹ 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。

³² 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発量と記述されている。

を求める際は、作付け日ごとに前後 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け日と収穫日の組み合わせを栽培期間としている。

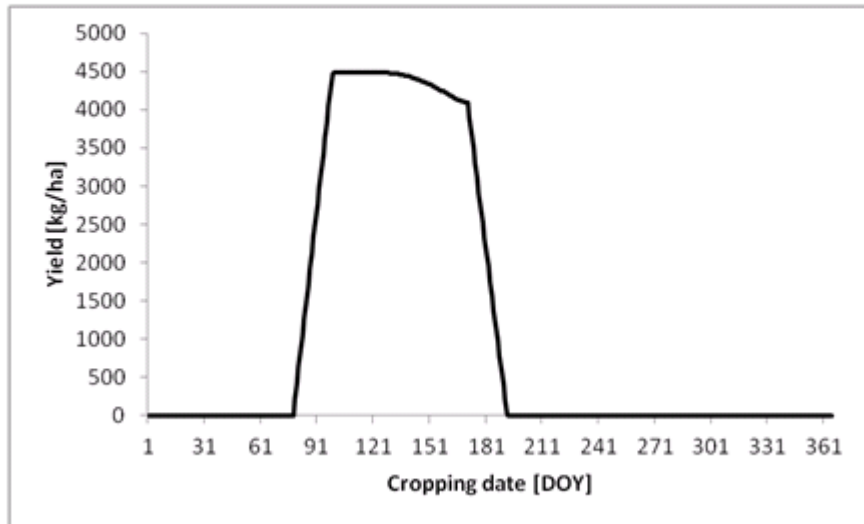


図 10-3 作付日と収量の関係。

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 12 月 31 日まで毎日作付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け日最低 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 番目に作付け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_cpyld` 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. crp/pre/に移動する。
2. prep.sh を編集し、実行する。
3. ファイルサーバから crp-org-SWIM.tar.gz を取得し、crp/org/SWIM に保存する。

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。なお、デフォルトでは3時間データから日データを作成しているが、もし陸面過程サブモデルの計算で3時間データを出力していなければ、そこでエラーがでる。もし陸面過程サブモデルの出力データが月単位であれば、陸面過程サブモデルを再計算しなければならない。

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³³。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は作付日 (planting date) が、mav_で始まるディレクトリは21日移動平均の収量

³³ 5分チャオプラヤ版を実行する際は、main.fを編集し、
parameter (n0lall=60*84)
parameter (n0lnd=1936)
とし、再コンパイルする。後者は陸(流域)の総格子数である。

[kg ha⁻¹]が出力される。例えば、1 月 1 日に大麦の作付を行った場合に得られる収量[kg ha⁻¹]は../out/mav_bar_/GSW2L_I_00000101.one ファイルに格納される。

3. crp/pst/に移動する。
4. calc_crpcal.sh を編集し、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/reg_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 を編集し、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
RPJ	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.GSWP2.one なら.GSWP2 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 1°にすれば 64800(360x180)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	-

JOB5	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³⁴。

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

³⁴ 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	-

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³⁵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³⁶、毎年状況に応じて操作ルールを決定する場合がある。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。

³⁵ 例えば、「ダム操作規則」というキーワードでインターネット検索すると、日本の現実のダムの操作ルールをいくつか入手することができるだろう。

³⁶ 英語では carry over という。

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。

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

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 を編集し、実行する。
3. calc_flddro.sh を編集し、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、以下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のみ使う。通常、貯水池操作サブモデルは第13章で示される通り、陸面水文サブモデルと河川サブモデルと結合して利用される。

4. ファイルサーバから dam-org-H06.tar.gz を取得し、dam/org に置いて解凍する。
5. dam/pre/に移動する。
6. prep_obslope.sh を実行する。

この操作によって、dam/org/H06 にある貯水池の操作記録が、H08 Format に変換される。

7. ファイルサーバから map-org-H06.tar.gz を取得し、map/org に置いて解凍する。
8. list_obslope.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/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_obslope.sh を実行すると、貯水池操作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 を編集し、実行する。

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_results.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³⁷。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。

³⁷ 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 を編集し、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 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

³⁸ 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。

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 スピニング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 スピニング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出力する。

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。

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。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 hum-dam (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 hum-nnb (Edit here)”にある OPTNNB を”yes”にする。
3. cpl/pre に移動し、prep_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。LECD 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, DAMMONIST, DAMALC, DAMRIVOUTFIX, DAMDEMAGRFIX 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つ足す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 hum-nnb (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 krls 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: 収穫日を固定するか、計算して求めるか	Free

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
DAMDEMAGRFIX	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³⁹。

³⁹ 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

2010 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？現時点での開発者の見解は、「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）、恐らく気候シナリオの作成法で最も単純と思われるものの一つに、「かさ上げと引き延ばし(shifting and scaling; Lehner, et al. 2006)」がある。これは現在気候の時系列に、温暖化による気象要素の変化分を加えたり、掛けたりすることにより「温暖化した世界」の気象データを作成する方法である。ここで温暖化による気象要素の変化分とは、全球気候モデルを利用した温暖化の数値実験を使う場合がほとんどで、例えば 2071-2100 年の平均気温と 1961-1990 年の平均気温の差や、同年の平均降水量の比などが利用される。この機能が H08 に組み込まれているので紹介しよう。

- 1 全球気候モデルを利用した温暖化の数値実験の結果を取得する。「全球水資源モデル入出力データサーバ」⁴⁰を利用すると比較的容易にデータが取得できる。ここで、気温、降水、下向き長波放射について、将来と現在についてそれぞれ 30 年分データを取得するというのが、現時点で標準的な手法である。ここでは表 14-1 の条件でデータを取得する。
- 2 met/pre に移動し、prep_CMIP3_mean.sh を実行することにより、まず将来 (A2 シナリオ) について、気温、降水、下向き長波放射の 30 年平均データを作成する。RUN=a21_, RUNOUT=a213, YEARMIN=2071, YEARMAX=2100 と設定する。なお、PID にはデータ取得時のものを与える。
- 3 met/pre に移動し、prep_CMIP3_mean.sh を実行することにより、過去 (20C3M シナリオ) についてデータを作成する。RUN=201_, RUNOUT=201_.YEARMIN=1961, YEARMAX=1990 と設定する。なお、PID にはデータ取得時のものを与える。
- 4 prep_CMIP3_delta.sh を実行することにより、気温と下向き長波放射については現在と将来の差を、降水については現在と将来の変化率を計算する。結果は気温の差が met/dat/Tair_DF に、下向き長波放射の差が met/dat/LWdownDF に、降水量への変化率が met/dat/Prcp_RT にそれぞれ出力される。
- 5 prep_RH.sh を実行することにより、相対湿度を計算する

⁴⁰ <http://h08.nies.go.jp> (user: cmip5; password: CMIP5)

- 6 lnd/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。
- 7 main.sh の”Climate change input”および”Climate change output”を編集する。TCOR, PCOR, LCOR にそれぞれ気温の差、降水の変化率、下向き長波放射の差を加える。また、TAIROUT, RAINFOUT, SNOWFOUT, LWDOWNOUT を設定する。このことにより、かさ上げと引き延ばしを行った後の気温、降雨、降雪、下向き長波放射を得ることができる。
- 8 main.sh の PRJ を編集する。PRJ は mm23 (MIROC medres A2 Period 3 の略) などとするとよいだろう。YEARMIN と YEARMAX は変更しない。ここで、かさ上げと引き延ばしによる 2071~2100 年のシミュレーションとは、現在 (これまでの例では 1986 年の 1 年) のシミュレーションに対し、将来と現在の気象要素の変化分を上乗せし、同じ期間について実施することなのである。よって、出力ファイル名は mm23LR__19860101.one などとなるが、これを 21 世紀後半の計算結果だと読み替えてほしい。
- 9 main.sh を実行する。riv/bin/main.sh、crp/bin/main.sh⁴¹と cpl/bin/main.sh⁴²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。このとき、降水量と降雪量を main.sh において RAINFOUT と SNOWFOUT で設定したものに変更するのを忘れないこと。そうしないと水収支が合わなくなる。つまり、RAINFOUT=../lnd/out/Rainfout, SNOWFOUT=../lnd/out/Snowfout, PRJMET=mm23, RUNMET=LR__とする。

表 14-1 取得するデータ

Options	Seetings
データセット	CMIP3
モデル	MIROC3.2 medres (m32m)
シナリオ	A2 and 20C3M
年	2071-2100 for A2, 1961-1990 for 20C3M
アンサンブル	1
変数	pr, tas, rlds
時間解像度	Monthly
空間領域	-180, 180, -90, 90 for global (97, 102, 13, 20 for the Chao Phraya River)
空間解像度	360 x 180 for one degree global (720 x360 for half degree global and 60 x84 for five minutes Chao Phraya)
南北のつながり	North to South
ファイル種類	Plain binary (little endian) with short name
圧縮	Yes

⁴¹ crp/bin/main.sh の温暖化実験を実行する前に crp/pre/prep.sh を編集し実行することを忘れないようにする。また、PRJ, POTEVAP, EVAP, TCOR, TAIROUT に与える引数を変更する。

⁴² PRJ, PRJLR __, PRJ __C __, TCOR, PCOR, LCOR, TAIROUT, RAINFOUT, SNOWFOUT, LWDOWNOUT に与える引数を変更する。RUN=LECD のときは、map/bin/main_dam.sh を PRJDIS=mm23 等で実行しておく。

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=64800)`
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,n0secdays,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 n0secdays (=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 から始まる。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)。例外は何種類がある。

- 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.
- 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.
- 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), 地表面に近い大気の科学—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.
- 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.
- 齊藤裕佑, 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., S. Gomes, P. Viterbo, W. J. Shuttleworth, E. Blyth, H. Österle, J. C. Adam, N. Bellouin, O. Boucher, and M. Best (2011), Creation of the WATCH Forcing Data and Its Use to Assess Global and Regional Reference Crop Evaporation over Land during the Twentieth Century, *J. Hydromet.*, 12(5), 823-848.