

Swumsuit マニュアル

2012/7/20

対応 Swumsuit バージョン : 4.0.0

1. 基本操作

Swumsuit は中島らが提案する [1] [2] 水泳人体シミュレーションモデル SWUM を実装したソフトウェアです。入力として、身体形状、関節運動、解析設定のデータを与え解析エンジン部に渡します。解析エンジンでは与えられた身体形状と関節運動から、身体に働く流体力を推定し、身体の剛体としての運動方程式を解き、身体の絶対運動を求めます。また、上記の解析により求まる泳速度、推進効率、推力、関節トルクなど多くの物理量を出力します。

Swumsuit では、入力データの編集、解析開始、グラフとアニメーションによる多くの物理量の結果表示等の全ての作業を、難しい力学シミュレーションの中身を意識する必要無く、容易な GUI (Graphical User Interface) 操作により行えます。

これにより、これまで身体運動や流体力の定式化の複雑さから困難とされていた水泳における力学シミュレーションが誰にでも行える環境を提供しています。

Swumsuit は GPL (Gnu General Public License) に従って配布されるフリーソフトウェアです。

2. 配布場所

Swumsuit は <http://www.swum.org/swumsuit/> から得ることができます。

3. 動作環境

Windows もしくは Linux 上で動作します。ただし、Windows については、Windows 2000 Professional, Windows XP もしくはそれ以上である必要があります。Windows 95, 98, Me では動作しません。また Linux の場合には、ActiveTcl (<http://www.activestate.com/Products/ActiveTcl/>) と BLT パッケージ (<http://sourceforge.net/projects/blt/>) がインストールされている必要があります。

また解析結果のアニメーションを BMP, GIF, JPEG, MPEG 形式で出力する場合には、ImageMagick (<http://www.imagemagick.net/>) と Ghostscript (<http://auemath.aichi-edu.ac.jp/~khotta/ghost/>) というソフトウェアが別途インストールされている必要があります。

4. インストールおよび起動方法

Swumsuit のインストールは簡単ですが、自動解凍式のインストーラではなく、以下のように手動で行なう必要があります。

1. ダウンロードした `swumsuitX X X.zip` を解凍ソフト等を用いて解凍します。
2. 解凍してできたフォルダ `Swumsuit` を、インストールしたい場所にコピーします。このとき、「デスクトップ」などの日本語フォルダ名を含む場所にはコピーしてはいけません。正常に動作しません。必ず日本語フォルダ名を含まない場所 (例 : `C:\Program Files` など) の下にコピーして下さい。またネットワークドライブ上でも正常に動作しません。

以上で基本的にインストールは終了です。

3. 起動するには、まず Windows の場合、コピーした `Swumsuit` フォルダの中の `swumsuit jp.exe` (SWUM というアイコンで示されています) をダブルクリックします (英語版は `swumsuit en.exe` です)。いちいち `Swumsuit` フォルダを開くのは面倒ですので、起動しやすいよう、デスクトップにショートカットを作っておくと良いでしょう。ショートカットは「デスクトップ」などの日本語名フォルダに置いて問題ありません。

Linux の場合には、`kterm` 等のターミナルソフト上で `swumsuit jp.tcl` と入力すれば起動します (英語版は `swumsuit en.tcl` です)。この際に、`wish` コマンドがインストールした `ActiveTcl` のものでないと正常に動作しません。`which wish` と入力して、`/usr/local/ActiveTcl/bin/wish` などと出て来れば大丈夫です。出て来ない場合や、出て来ても `ActiveTcl` のものでない場合にはパスの設定を見直して下さい。

Linux の場合にも、いちいちディレクトリ移動するのは面倒ですので、例えば `/usr/bin/swumsuit jp` として、以下のような内容のテキストファイルを作成しておくとう良いでしょう。

```
#!/bin/sh
cd /usr/local/lib/Swumsuit
wish swumsuit jp.tcl
```

このようにすれば、どのディレクトリからでも `swumsuit jp` で起動できます。

なお `/usr/bin/swumsuit jp` を実行可能にする (`chmod 755 swumsuit jp`) ことも忘れないで下さい。

5. 基本操作

5.1 メインウィンドウ

SWUM を起動してすぐに現れるのがメインウィンドウです。Fig. 5.1 を参照してください。

5.1.1 プロジェクトフォルダタブ (メインウィンドウの1番左のタブ, Fig. 5.1 参照)

Swumsuit では、身体形状、関節運動、解析設定の3つの入力ファイルと多くの出力ファイル (さらに場合によってはコメントファイル) のすべてのセットを「プロジェクト」と呼びます。そしてこれらのセットが入ったフォルダを「プロジェクトフォルダ」と呼びます。つまりプロジェクトフォルダとはすべての解析条件とその解析結果のデータをまとめたものです。プロジェクトフォルダタブでは、プロジェクトフォルダに関する操作を行います。以下に本タブの各機能を説明します。

新規作成 プロジェクトフォルダを新規に作成したい場合に用います。この場合、身体形状ファイル、関節運動ファイル、解析設定ファイルを読み込む必要があります。実際には本機能を使用する場合は少ないかもしれません。

開く 既存のプロジェクトフォルダを開きます。解析に必要な3つの入力ファイル、すなわち身体形状ファイル、関節運動ファイル、解析設定ファイルのうち、そのプロジェクトフォルダに無いファイルがある場合警告が出ます。なお、これまでに開いたプロジェクトフォルダの履歴が10個リストアップされます。

別名で保存 あるプロジェクトフォルダを開いてから、そのプロジェクトフォルダを別名で保存します。その際に、別名をつけたフォルダにコピーして保存されるのは基本的に3つの入力ファイルのみであり、**出力ファイルはコピーされません**。よって、本機能はパラメータスタディを行う際に用いると便利です。まずある既存のプロジェクトフォルダを開いてから、パラメータを変化させ、本機能により別名のプロジェクトフォルダとして保存するという流れで使用します。また、元のプロジェクトフォルダにコメントファイルがある場合、そのファイルもコピーするか尋ねられます。

情報 プロジェクトフォルダの場所と、プロジェクトに対するコメントが表示されます。またコメントを書き加え、保存することができます。なおプロジェクトフォルダの場所はメインウィンドウのウィンドウタイトルバーにも表示されています。

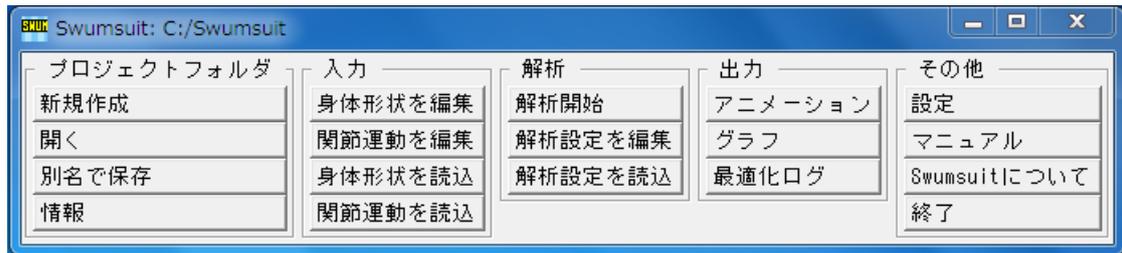


Fig. 5.1 メインウィンドウ

5.1.2 入力タブ (メインウィンドウの左から2番目のタブ, Fig. 5.1 参照)

身体形状を編集 身体形状編集ウィンドウを起動します。詳細は 5.2 をご覧ください。

関節運動を編集 関節運動編集ウィンドウを起動します。詳細は 5.3 をご覧ください。

身体形状を読込 身体形状ファイルを読み込みます。読み込みの際、元のファイルに上書きされるため確認画面が表示されます。身体形状ファイルはプロジェクトフォルダの中で常に「body_geometry.dat」というファイル名で保存されていますが、ここでは任意の名前の「...dat」というファイルを読み込むことが可能です。例えば男性と女性の平均身体形状のデータをそれぞれ「geometry_male.dat」と「geometry_female.dat」という名前で保存しておき、解析するときにはどちらかを読み込む、といった使用法が考えられます。プロジェクトフォルダの中に置かれる際には自動的に「body_geometry.dat」に名前が変更されます。

関節運動を読込 関節運動ファイルを読み込みます。読み込みの際、元のファイルに上書きされるため確認画面が表示されます。関節運動ファイルはプロジェクトフォルダの中では常に「joint_motion.dat」というファイル名で保存されていますが、ここでは任意の名前の「...dat」というファイルを読み込むことが可能です。例えばクロールと平泳ぎの関節運動のデータをそれぞれ「crawl.dat」と「breast.dat」という名前で保存しておき、解析するときにはどちらかを読み込む、といった使用法が考えられます。プロジェクトフォルダの中に置かれる際には自動的に「joint_motion.dat」に名前が変更されます。

5.1.3 解析タブ (メインウィンドウの真ん中のタブ, Fig. 5.1 参照)

解析開始 解析を開始します。Windows の場合はコマンドプロンプト画面、Linux の場合は xterm が起動し、その上で解析エンジンプログラムが走ります。解析条件にもよりますが、解析には数分から数十分を要します。解析中に表示される、cycle, direction, x, y, stroke length, stroke length deviation はそれぞれ、周期、水平面 (x-y 平面) での向き、重心の x 座標、重心の y 座標、無次元ストローク長、無次元ストローク長の 1 つ前の計算周期との差を比で表したもの (定常状態に

なったかどうかの判断材料になります) です。

解析設定を編集 クリックすると、Fig. 5.2 のようなメニューバーが表示されます。

「計算設定」では、時間分割数や流体力係数等の計算パラメータを変更できます。詳細は **7.1** をご覧ください。

「初期条件」では、身体の質量中心の初期の位置、向き、速度、角速度を変更できます。このうち、「x-y 平面での初期の向き」は、クロールなどの左右非対称な運動を解析する際に便利です。非対称な運動の場合、最初の推進方向を x-y 平面において x 軸負方向に向けても、斜めに身体が推進して行ってしまいます。このとき、定常状態での推進の「向き」を出力結果で確認し、その値が例えば 34°であれば、「x-y 平面での初期の向き」に-34 と入力してもう一度解析すれば、定常状態時に x 軸負方向に真っ直ぐ推進する状態が得られます。

「出力設定」では、どのデータを出力するかを選択できます。全てのデータを全ての周期について出力させると、出力のためにシステムに相当な負荷がかかり、解析時間が長くなります。必要でない情報は出力しないようにすると、ディスクスペースと時間を節約できます。

「貫入判定設定」では、貫入判定機能を使用するかどうかを選択できます。詳細は **7.2** をご覧ください。

「最適化設定」では、最適化設定ウィンドウを、「最適化のためのスクリプトを編集」では、最適化のためのスクリプトの編集画面を起動できます。詳細は **6.2** および **6.3** をご覧ください。

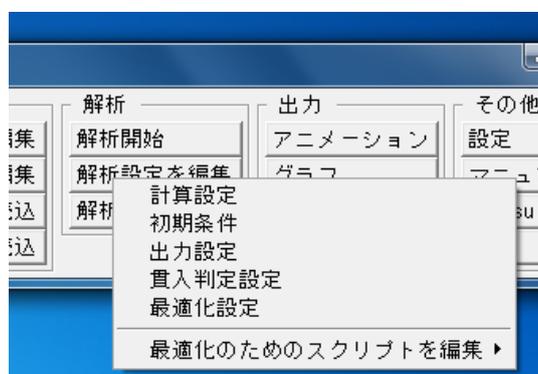


Fig. 5.2 「解析設定を編集」のメニューバー

解析設定を読み込 解析設定ファイルを読み込みます。解析設定ファイルはプロジェクトフォルダの中では常に「analysis_settings.dat」というファイル名で保存されていますが、ここでは任意の名前の「...dat」というファイルを読み込むことが可能です。プロジェクトフォルダの中に置かれる際には自動的に「analysis_settings.dat」に名前が変更されます。

5.1.4 出力タブ (メインウィンドウの右から 2 番目のタブ, Fig. 5.1 参照)

アニメーション アニメーションウィンドウを起動します。詳細は 5.5 をご覧ください。

グラフ グラフウィンドウを起動します。詳細は 5.6 をご覧ください

5.1.5 その他タブ (メインウィンドウの 1 番目右のタブ, Fig. 5.1 参照)

設定 環境設定を行います。現在、解析エンジンの OS を選択できます。デフォルトは自動判別です。すなわち、Swumsuit が動作している OS を自動判別し、適切な解析エンジンを起動しています。しかし場合によっては、ネットワークで Windows と Linux でファイルを共有し、Windows で解析条件などを設定して、Linux で解析させたいという場合も考えられます。そのような場合は自動判別を解除し、希望する OS を選択して下さい。解析エンジンのファイルは、実は解析を開始させるたびにプロジェクトフォルダの下にコピーされています。Windows, Linux それぞれの実行ファイル名は SWUM ENGINE WINDOWS, SWUM ENGINE LINUX です。ですので、Windows 上で解析エンジン OS を Linux に設定しておけば、解析開始時に SWUM ENGINE LINUX がプロジェクトフォルダの下にコピーされます。(もちろん、実行ファイル自体は Linux 用ですので、Windows 上では動作しません。)そしてターミナルソフト等で別途 Linux 機にログインし、プロジェクトフォルダに移動し、SWUM ENGINE LINUX を実行させれば、Linux 上で解析が通常通り開始できます。

マニュアル マニュアルの入手方法を表示します。

Swumsuit について Swumsuit のバージョン情報等を表示します。

終了 SWUM を終了します。

5.2 身体形状編集ウィンドウ

本ウィンドウで身体形状を編集できます。Fig. 5.3 は、「身体形状を編集」をクリックしたときに表示されるウィンドウです。SWUM において編集が可能なのは、楕円錐台で近似した各体節の、

1. 根元・先端の幅
2. 根元・先端の奥行き
3. 長さ
4. 水に対する比重

です。ただし、根元・先端の定義は Fig. 5.4 に示したような姿勢において、下腰と上臀部の境界に近い方を根元と呼んでいます。

	根本奥行き	根本幅	先端奥行き	先端幅	長さ	密度
下腿	0.0646334	0.0846963	0.0600203	0.0787683	0.0353079	1.042
上腿	0.0600203	0.0787683	0.0711379	0.0846774	0.0718475	1.042
下胸	0.0711379	0.0846774	0.0822555	0.0905865	0.0718475	0.7
上胸	0.0822555	0.0905865	0.0585924	0.113724	0.0656891	0.7
肩	0.0585924	0.113724	0.0406597	0.0406597	0.0312023	1.042
首	0.0406597	0.0406597	0.033903	0.033903	0.0164223	1.042
頭	0.041393	0.0405718	0.0551906	0.0486862	0.139062	1.042
上臀部	0.0646398	0.0846908	0.0654023	0.105926	0.0544169	1.042
下臀部	0.0654023	0.105926	0.0500197	0.10003	0.0748959	1.042
右腿	0.0500148	0.0500148	0.0344282	0.0329589	0.187566	1.042
左腿	0.0500148	0.0500148	0.0344282	0.0329589	0.187566	1.042
右脛	0.0344282	0.0329589	0.0203588	0.0203588	0.180938	1.042
左脛	0.0344282	0.0329589	0.0203588	0.0203588	0.180938	1.042
右足	0.0378481	0.0203588	0.0106976	0.0282405	0.137193	1.042
左足	0.0378481	0.0203588	0.0106976	0.0282405	0.137193	1.042
右上腕	0.0260342	0.0260342	0.0233552	0.0233552	0.186628	1.042
左上腕	0.0260342	0.0260342	0.0233552	0.0233552	0.186628	1.042
右前腕	0.0233552	0.0233552	0.0119648	0.0180051	0.15132	1.042
左前腕	0.0233552	0.0233552	0.0119648	0.0180051	0.15132	1.042
右手	0.0119648	0.0294135	0.00410557	0.0150147	0.107331	1.042
左手	0.0119648	0.0294135	0.00410557	0.0150147	0.107331	1.042
肩関節と上腕根本部のyb方向距離:	-0.00779373233					
肩関節と上腕根本部のzb方向距離:	0.0131378299					実際の身長 [m]: 1.705
首先端と頭根本部のxb距離:	0.00599197012					実際の体重 [kg]: 64.9
下臀部先端と股関節のyb方向距離:	0.0500147909					
下臀部先端と股関節のzb方向距離:	0.068856305					
脛先端と足関節のzb方向距離:	0.0374193548					
上下臀部の回転角度[rad]:	0.0140119644					

Fig. 5.3 「身体形状を編集」のウィンドウ

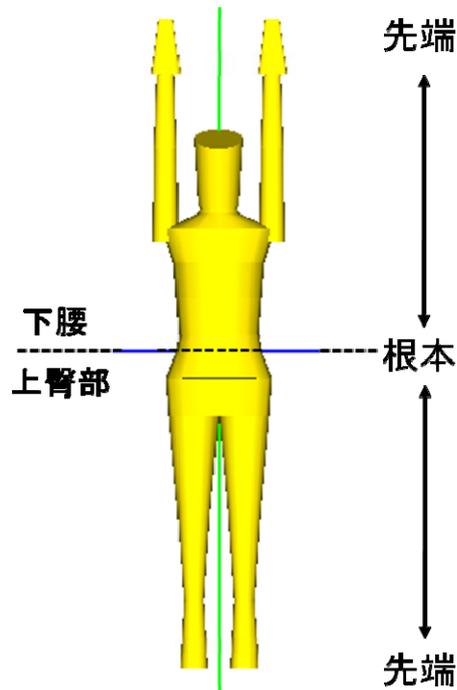


Fig. 5.4 根本・先端の定義

ここで、入力する長さは実際の身長で無次元化した無次元量です。つまり、実際に与えたい体節の長さを身長で割った値なので、通常の人体モデルであればその値は0.0から1.0になるはずです。

ウィンドウ内で好きな箇所の数値を編集し、「図」をクリックすると Fig. 5.5 に示すようにモデル化された身体が三次元表示されます。図のウィンドウ上で、左クリックをしながら上下・左右にドラッグすると、スクリーン上縦軸および横軸まわりに身体を回転させることができます。また右クリックをしながら上下にドラッグすると、スクリーンに対して垂直な軸まわりに回転できます。

なお、身体形状データをエディタで直接編集したい場合は、8.1 をご覧ください。

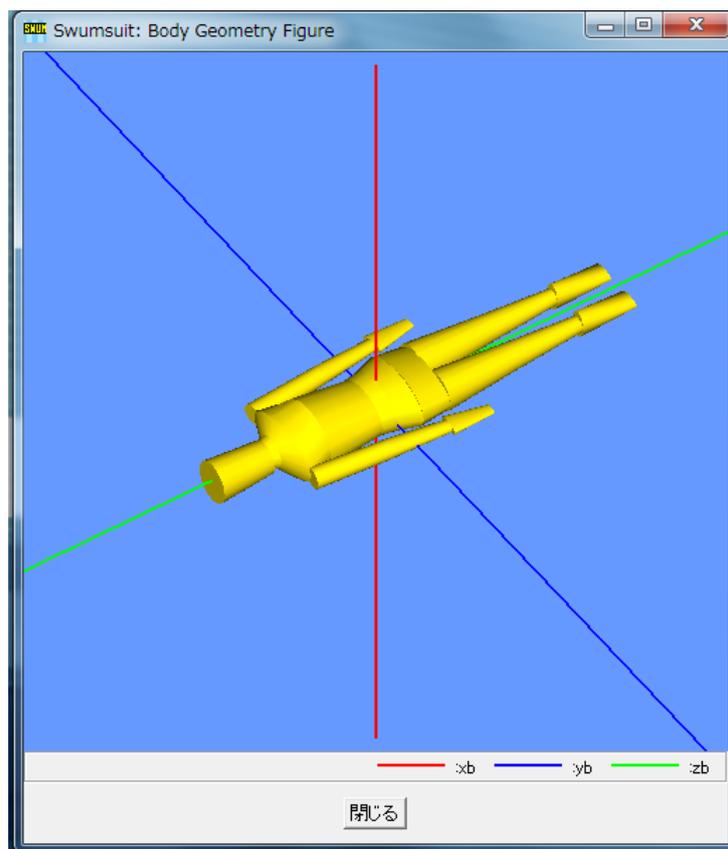


Fig. 5.5 モデル化された身体の三次元表示

5.3 関節運動編集ウィンドウ

本ウィンドウで関節運動を編集できます。Fig. 5.6 は、「関節運動を編集」をクリックしたときに表示されるウィンドウです。

サンプルプロジェクトを読み込んでから本ウィンドウを起動してみてください。右側には、回転させる体節、軸、全フレームの角度が 1 行単位となって、複数の行が表示されます。左側には 1 周期を何フレームで表現するか、のフレーム数と、右側の行を編集するための「新規作成」、「切り取り」、「コピー」、「貼り付け」のボタンが表示されます。

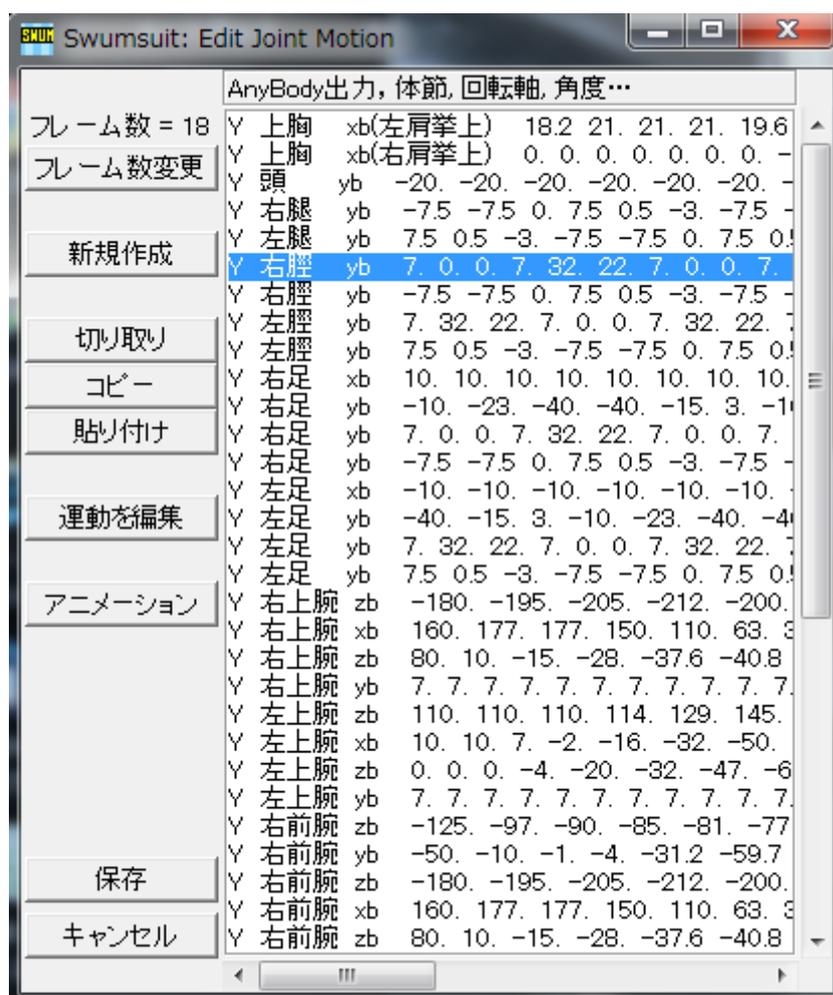


Fig. 5.6 「関節運動を編集」のウィンドウ

本ウィンドウでは, 行に関しての編集, すなわち順番の入れ換えやコピーすることはできません. 選択した行(図の青色)そのものを編集することは出来ません. これを行うのは, 編集したい行をダブルクリックするか, 選択した状態で「運動を編集」をクリックしてください. Fig. 5.7 に示す関節運動個別編集ウィンドウが表示されます. さらに, 「アニメーション」は関節運動個別編集ウィンドウと連携しています. 「アニメーション」では, 関節運動個別編集ウィンドウで入力した関節運動が Fig. 5.8 に示す三次元アニメーションで表示されます. このウィンドウではこのアニメーション画面では, 左クリックをしながら上下・左右にドラッグすると, スクリーン上の縦軸および横軸まわりに身体を回転させた方向から動きを確認することが出来ます. また, 右クリックをして上記と同様の操作をすれば, スクリーンに対して垂直なまわりに回転できます.

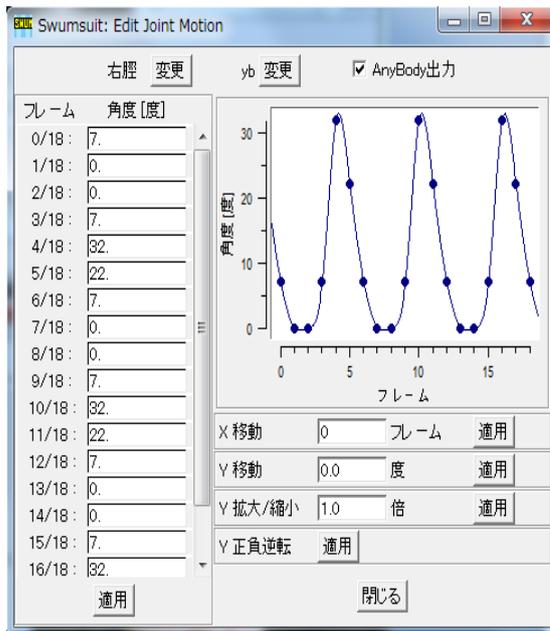


Fig. 5.7 関節運動個別編集ウィンドウ

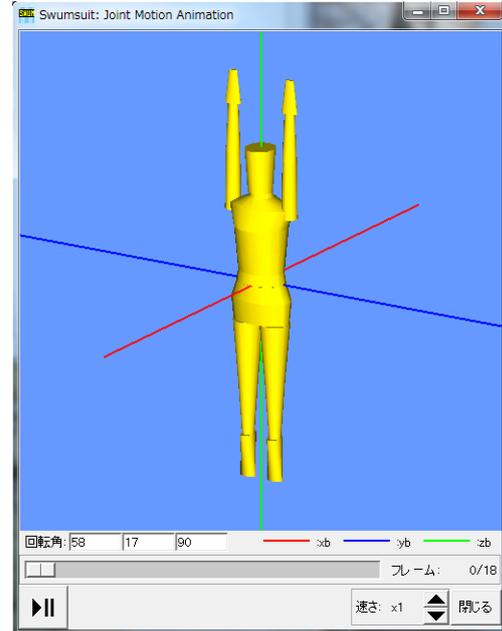


Fig. 5.8 関節運動の三次元アニメーション

関節運動個別編集ウィンドウは、右脛の yb 軸まわりの回転の編集ウィンドウを例に出しています。SWUM では、関節運動は各体節の関節点まわりの回転として表現されています。回転軸は下腰体節を基準とした胴体基準座標 xb-yb-zb です。また回転角は相対角でなく絶対角です。すなわち、腿にある回転を与えても、その回転は脛に反映されません。脛も同じ回転をさせるには、腿と同じ回転を与える必要があります。また、回転角に関しては、関節運動編集ウィンドウの右側に表示されている行の運動が上から順番に適用されます。つまり、同じ体節の場合、xb 軸→yb 軸の順番で回転させたときと、yb 軸→xb 軸の順番で回転させたときでは、結果は異なります。

また、あるフレームにおいて全ての体節の回転を与えていない(回転角度が 0 の)とき、上記の姿勢で設定されています。あるフレームで体節の回転角度を入力が終了し、次のフレームへ進むと、また上記の姿勢から入力を始めます。もし、右股関節を屈曲させる運動をさせたいならば、Fig. 5.9 に示すように入力します。フレーム間は、関節角個別編集ウィンドウの右側のグラフのようにスプライン補間されます。このように、各々の体節を適当な回転軸まわりに回転させてフレームごとに姿勢を入力していくことにより、運動を与えます。

なお、関節運動データをエディタで直接編集したい場合は、8.2 をご覧ください。

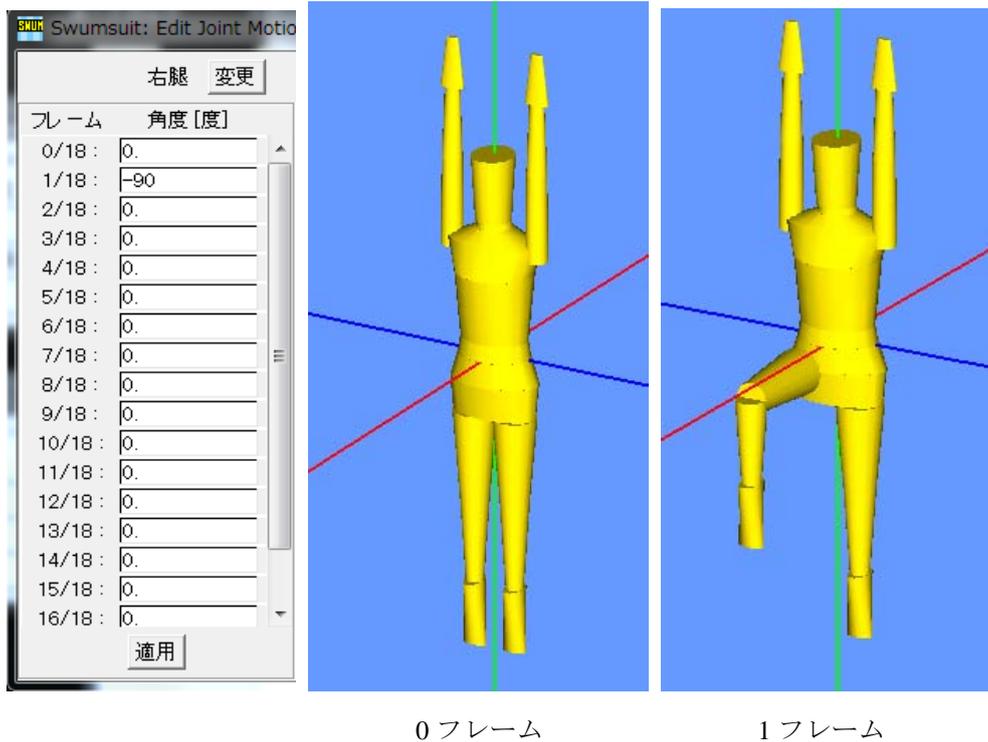


Fig. 5.9 関節角の入力

5.4 アニメーションウィンドウ

本ウィンドウでは解析結果の三次元アニメーションを見ることができます。このアニメーション画面においては、左クリックをしながら上下・左右にドラッグすると、スクリーン上縦軸および横軸まわりに身体を回転させることができます。また右クリックをしながら上下にドラッグすると、スクリーンに対して垂直な軸回りに回転できます。各ボタンの機能は Fig. 5.10 に示す通りです。

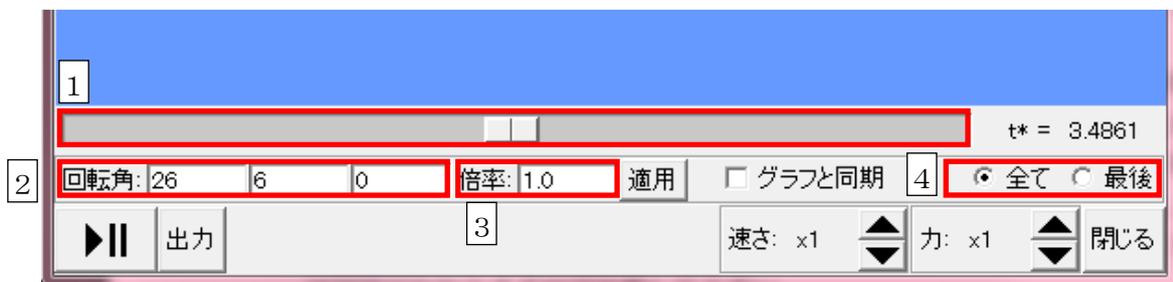


Fig. 5.10 アニメーションウィンドウの各ボタンの機能

1. シークバー

アニメーションの、任意の再生ポイントに移動できます。

2. 回転角指定ボックス

この欄に数値を入力することで、アニメーションの視点を回転させることができます。各欄が、3軸の各軸に関する回転を表しており、アニメーション上でのマウス操作によって視点変更を行った場合も、その数値が自動的に表示されます。

3. 倍率指定ボックス

アニメーションの表示倍率を変更できます。

4. 表示周期選択ボタン

5.1.3の「解析設定の編集」の「出力設定」において、「アニメーション」を「全ての周期」を選択して解析した場合本ウィンドウにおいて全ての周期を表示するか最後の周期だけ表示するかを下図4の「全て」と「最後」で選択できます。「全て」の場合、1周期ごとに一瞬ずつアニメーションが止まりますが、これはバグではなく仕様です。「最後」を選択した場合には最後の周期の運動のみが繰り返し再生されます。

「出力」では、各瞬間のスナップショットを、EPS, BMP, GIF, JPEG 形式の静止画像か、MPEG 形式の動画として、プロジェクトフォルダの下のOutput images フォルダに出力します。また画像のサイズを選択することができます。また出力するのはすべての周期、最後の1周期、この瞬間のみかを選択できます。ただし、すべての周期をMPEG 動画として出力する場合には、画像数が多すぎ正常に出力されない場合があります。その場合は画像のサイズを1/2 か 1/4 に小さくして下さい。なおこの出力には時間がかかりますので注意して下さい。

5.5 グラフウィンドウ

グラフウィンドウは、Fig. 5.11に示すように、まずメインウィンドウの「出力」タブの「グラフ」をクリックし、さらに出力したい物理量を選択して起動します。上部にグラフのタイトルが表示されます。

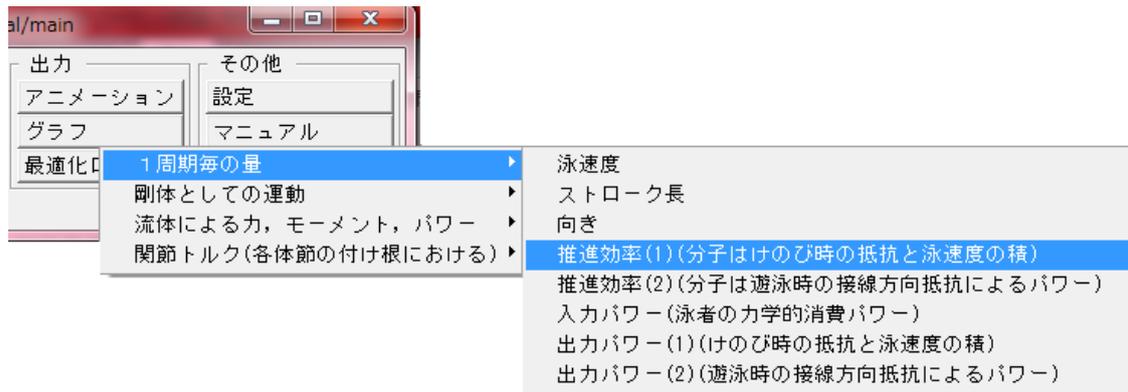
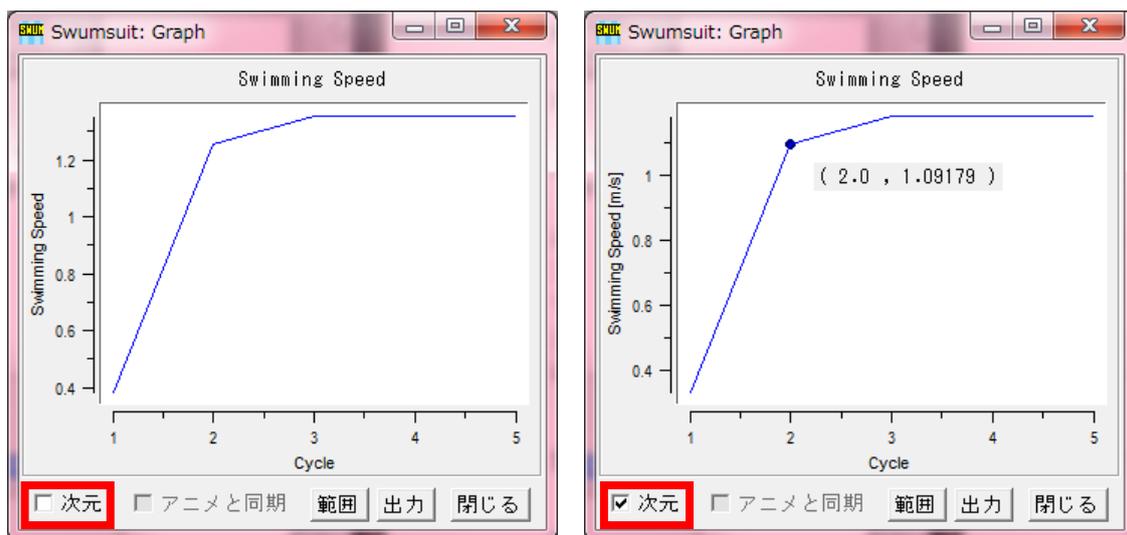


Fig. 5.11 グラフウィンドウ

出力したグラフをFig. 5.12に示します。(a)が無次元化のグラフ、(b)が有次元化のグラフです。

「次元」をクリックするとグラフを有次元化／無次元化することができます。「範囲」ではグラフの表示範囲を設定できます。範囲を空白にしておくと、自動的に範囲が決められます。グラフの線の近傍にマウスポインターを近づけると、最も近いデータ点の横軸・縦軸の値が表示されます。グラフから値を読み取るのに便利です。

「出力」ではさまざまな出力に対応しています。Windows の場合では、クリップボード、Windows メタファイル(WMF)、拡張メタファイル(EMF)、EPS の形式に出力できます。Linux の場合ではEPS形式のみです。



(a)無次元化

(b)有次元化

Fig. 5.12 出力したグラフ

6. 最適化機能

6.1 概要

2.0.0 以降のバージョンでは, Swumsuit 上で最適化計算を行うことが可能です. 最適化手法としては, 非線形最適化手法として古典的な滑降シンプレックス法 [3] が現在実装されています. 最適化計算の流れとしては, Swumsuit の通常の計算の流れに, さらに以下のように最適化のループがかぶさる形になります.

1. 最適化の設計変数の初期値を設定する.
2. 設計変数の値から, 入力データファイル (身体形状ファイル, 関節運動ファイル, 解析設定ファイル) を作成する.
3. 解析エンジンを実行する.
4. 得られた出力データファイルから, 最適化の目的関数値を求める.
5. 目的関数値から, 最適化アルゴリズムに基づき, 新たな設計変数の値を求める.
- 6.2 に戻る.

上記の 1, 2, 4 の三つの処理のために, ユーザは後述する三種類のスクリプトを作成する必要があります.

6.2 最適化ウィンドウ

「解析設定を編集」「最適化設定」をクリックして起動される最適化設定ウィンドウでは, 最適化に関するオプションを設定できます. 「計算ウィンドウを表示する」では, 最適化計算の最中に解析エンジンの画面を表示するかどうかを設定できます. 試験的な計算では「はい」にして結果を参照しつつ計算させ, 本格的に長時間計算させる場合には「いいえ」にすれば良いでしょう. 「シンプレックスの初期サイズ」では, ユーザによって与えられる設計変数の初期値一つに対して, シンプレックス法においてさらに設定される設計変数の数分の他の初期値の振れ幅に相当する量を設定できます. 「反復回数の制限値」では, 反復回数がこれ以上になると計算がストップする回数を設定できます. 「収束の許容値」では, 収束の判断に使用される値を設定できます. 目的関数の最良値と最悪値がこの範囲 (相対範囲) の中に入れば収束したとみなされます. 「全体の繰り返し回数」では, シン

プレックス法による最適化計算全体の繰り返し回数を設定できます。シンプレックス法では、解が最適値まで到達せずに計算が終わってしまうことがしばしば起きるため、求まった最適値から再び最適化計算をやり直す機能を付加しています。

6.3 最適化のためのスクリプト

以下の最適化のための3種類のスクリプトはユーザが記述する必要があります。スクリプトはTcl/Tkの文法で書く必要があります。解析設定を編集「最適化のためのスクリプトを編集」でそれぞれの編集画面を起動できます。

6.3.1 設計変数初期値設定スクリプト(opt_initial_values.tcl)

最適化計算においては、設計変数は `xopt` という配列 (`xopt(1)`, `xopt(2)` ...) に格納されます。本スクリプトではその初期値を設定します。 `xopt` の配列数は「最適化設定」での「設計変数の数」と一致している必要があります。

なお、あるプロジェクトフォルダにおいて本スクリプトを初めて編集しようとするとき、自動的にサンプルファイルが読み込まれます。フォーマットの詳細はサンプルファイルを見ればわかると思います。本スクリプトは `opt_initial_values.tcl` という名前でプロジェクトフォルダに保存されるので、Swmsuit 上でなく、好みのエディタで編集しても構いません。

6.3.2 設計変数設定スクリプト(opt_design_parameters.tcl)

本スクリプトでは、設計変数 `xopt` を入力ファイル中の値に変換します。そのために、 `ReplaceInputData` というコマンドが用意されています。このコマンドでは、どの入力ファイルの何行目の何列目のデータを、設計変数 `xopt` の何番目のデータと置き換えるかを指定します。

なお、あるプロジェクトフォルダにおいて本スクリプトを初めて編集しようとするとき、自動的にサンプルファイルが読み込まれます。フォーマットの詳細はサンプルファイルを見ればわかると思います。本スクリプトは `opt_design_parameters.tcl` という名前でプロジェクトフォルダに保存されるので、Swmsuit 上でなく、好みのエディタで編集しても構いません。

6.3.3 目的関数設定スクリプト(opt_objective_function.tcl)

最適化計算においては、目的関数の値は `yopt` という変数が用いられています。本スクリプトでは、 `yopt` の値を出力ファイル中の値から計算するように記述します。そのために、 `GetOutputData` というコマンドが用意されています。このコマンドでは、どの出力ファイルの何行目の何列目のデータを取得するかを指定します。取得したデータを適宜組み合わせ、望みの目的関数の値 `yopt` を計算します。なお最適化計算では、 `yopt` は「最大化」されるので、 `yopt` は「大きい方が良い」ようにしてやる必要があります。

なお、あるプロジェクトフォルダにおいて本スクリプトを初めて編集しようとするとき、自動的にサ

ンプルファイルが読み込まれます。フォーマットの詳細はサンプルファイルを見ればわかると思います。本スクリプトは `opt_objective_function.tcl` という名前でプロジェクトフォルダに保存されるので、Swumsuit 上でなく、好みのエディタで編集しても構いません。

6.4 最適化ウィンドウ

出力タブの「最適化ログ」ボタンをクリックして起動される本ウィンドウでは、最適化のログを確認できます。iteration は反復回数, loop は全体の繰り返し回数で,あとは設計変数の配列 `xopt` と目的関数 `yopt` の値が出力されます。なおこの内容はプロジェクトフォルダ内に `optimization_log.dat` として保存されています。

また「中止」ボタンにより、解析を中止することができます。

7. その他の高度な機能

7.1 絶対運動を強制的に与える機能

1.4.0 以降のバージョンでは、身体全体の絶対運動を、解かずに強制的に与えることが可能です。これは例えばモーションキャプチャで得た身体の絶対運動をそのまま入力し、流体力のみを算出したい場合に便利です。この設定は、解析設定を編集「計算設定」と選択して出てくる画面の最初の7行で様々な場合を選択して行います。1行目の「質量中心と慣性主軸」を「与える」にすると、質量中心は下腰の下端、慣性主軸胴体基準座標系 x_b, y_b, z_b に固定されます。2~7行目の速度、角速度については、それぞれに対応する運動方程式を解くか与えるかを指定します。「与える」にした場合、特別な名前のテキストファイルで1周期分のデータを与える必要があります。名前は設定画面と同じ順番でそれぞれ、`input_vgx.dat`, `input_vgy.dat`, `input_vgz.dat`, `input_ome1.dat`, `input_ome2.dat`, `input_ome3.dat` です。フォーマットは、「1周期の時間分割数」と同じ行数で、各行にその瞬間の速度/角速度の値(無次元値)が書かれた1列のみ書かれている必要があります。例えば「1周期の時間分割数」が4の場合、

0.0
0.10
0.30
0.15

などという4行のファイルを、上記の名前で用意すれば良いわけです。なおデータファイルの作成はSwumsuit上ではできないので、適宜他のソフトを用いて作成して下さい。

7.2 貫入判定機能

2.1.0 以降のバージョンでは、身体各部がお互いに接触して貫入している(めり込んでいる)かどうかを判定して結果として出力することが可能です。この機能を用いれば、例えば関節運動を最適化するとき本結果をペナルティとして目的関数に加えることにより、貫入するような不自然な動作を避けることができます。この判定の設定は、解析設定を編集「貫入判定設定」として行います。1行目で判定を行うかどうかを指定し、2行目以降で、どの部位とどの部位の貫入を判定するかを設定します。この判定は、浮力を計算するとき作成している、楕円錐台表面を分割した微小四辺形一つ一つと、別の部位の楕円錐台の微小四辺形との距離が、一定値以下になっているか否か、として行われます。そして一定値以下の場合、その微小四辺形の組み合わせがカウントされ、最終的に一定値以下の組み合わせの個数が出力されます。この判定は解析の1周期目のみ行われますが、計算時間の増大を招くので、判定する部位と部位の組み合わせは、必要最小限にした方が良いでしょう。判定結果は、プロジェクトフォルダの `Output_data` フォルダの下に `penetration.dat` というファイルとして出力されます。このファイルのフォーマットについては、まず行が各時間ステップに対応するので、行数は「1周期の時間分割数」です。また列については、1列目が、判定したすべての部位の組み合わせについての合計です。2列目以降は、設定時の10種類の組み合わせのそれぞれの値で、設定メニューと同じ順番です。なお判定を行わない場合は-1が出力されます。

8. データフォーマット

Swumsuit においては、通常使用する限りでは入力・出力データのフォーマットを気にする必要はありませんが、データをエディタで直接編集したい、もしくは Swumsuit のデータ表示機能では表示されないデータを取り出したいといった状況が考えられます。そのため各データファイルのフォーマットを以下に記述します。

8.1 身体形状データファイル (body_geometry.dat)

身体形状データファイル `body_geometry.dat` のフォーマットは以下の通りで、ほぼ身体形状編集ウインドウと同じ並び方です。30行です。指定が無い限りは身長で無次元化された無次元量です。

(体節 1 の根本奥行き) (同根本幅) (同先端奥行き) (同先端幅) (同長さ) (同密度)

(体節 2 の根本奥行き) (同根本幅) (同先端奥行き) (同先端幅) (同長さ) (同密度)

:

(体節 21 の根本奥行き) (同根本幅) (同先端奥行き) (同先端幅) (同長さ) (同密度)

(肩関節と上腕根本部の `yb` 方向距離)

(肩関節と上腕根本部の `zb` 方向距離)

(首先端と頭根本部の xb 距離)
(下臀部先端と股関節の yb 方向距離)
(下臀部先端と股関節の zb 方向距離)
(脛先端と足関節の zb 方向距離)
(上下臀部の回転角度 [rad])
(実際の身長 [m])
(実際の体重 [kg])

なお体節 (body_segment) については、1 から 21 まで順に、下腰、上腰、下胸、上胸、肩、首、頭、上臀部、下臀部、右腿、左腿、右脛、左脛、右足、左足、右上腕、左上腕、右前腕、左前腕、右手、左手に対応します。

8.2 関節運動データファイル (joint_motion.dat)

関節運動データファイル joint_motion.dat のフォーマットは以下の通りです。

(1 周期のフレーム数 (ここでは N とします))
(回転させる体節 No.) (回転させる軸 No.)
(1 フレーム目の回転角)
(2 フレーム目の回転角)
:
(N フレーム目の回転角)
(次に回転させる体節 No.) (回転させる軸 No.)
(1 フレーム目の回転角)
(2 フレーム目の回転角)
:
(N フレーム目の回転角)
:
:
(最後の回転の N フレーム目の回転角)
0 0

最後の「0 0」は解析エンジンに最終行を教えるためのものです。回転させる体節 No. は身体形状データファイルと同様です。回転させる軸 No. については、xb 軸 : 1, yb 軸 : 2, zb 軸 : 3, xb 軸 (右肩挙上):4, yb 軸 (右肩挙上):5, zb 軸 (右肩挙上):6, xb 軸 (左肩挙上):7, yb 軸 (左肩挙上):8, zb 軸 (左肩挙上) : 9 です。ここで、「左肩挙上」などとあるのは、肩が肩甲骨ごと動く運動を表現するためのもの

のです。そのために、両肩関節の midpoint を回転中心として、両肩関節自体を回転移動させることができます。それぞれの回転はこのデータファイルに記述されている通りの順番で行われます。またそれぞれの回転は、対応する体節だけしか回転させません。すなわち、上腕を肩関節から回転させても、その回転は前腕および手には反映されませんので、同じ回転を前腕および手に与えてやる必要があります。

8.3 解析設定データファイル (analysis_settings.dat)

解析設定データファイル `analysis_settings.dat` はフリーフォーマットに近いものになっています。基本的に、以下のようなフォーマットで解析設定のパラメータを記述します。

(定義するパラメータの名前) =
(パラメータの値)

すなわちパラメータの名前の次の行に値が記述されています。それぞれのパラメータの順番は入れ替わっても、また間の空白行は何行あっても問題ありません。複数の値を与えるパラメータについては (パラメータの値) の行が適宜、複数行、複数列になります。

8.4 アニメーション用運動記述ファイル (motion.dat)

アニメーション用運動記述ファイル `motion.dat` のフォーマットは以下の通りで、最も複雑です。

(1 周期の時間分割数) (周期) (全周期数)
(体節数)
(各体節の長手方向分割数)
(その周期の平均無次元ストローク長)
(その周期の平均推進方向 [deg])
(その周期の最初の時間ステップにおける、体節数 (21) の行からなる、各体節の位置記述行)
(体節の長手方向分割数 × 体節数 (21) の行からなる、流体力記述行)
:
(その周期の最後の時間ステップにおける、体節数 (21) の行からなる、各体節の位置記述行)
(体節の長手方向分割数 × 体節数 (21) の行からなる、流体力記述行)

上記は 1 周期分の場合です。複数周期を出力させている場合には、上記フォーマットの 1 行目の 2 番目の (周期) が次の周期の値になって、全体が繰り返されます。また、6 行目の各体節の位置記述行については、以下のようなフォーマットで、21 行、12 列からなります。

(体節 1 根本中心の x 変位) (y 変位) (z 変位) (下行に続く)
(体節 1 先端中心の x 変位) (y 変位) (z 変位) (下行に続く)
(体節 1 の楕円軸 1 の向き x 成分) (y 成分) (z 成分) (下行に続く)
(体節 1 の楕円軸 2 の向き x 成分) (y 成分) (z 成分)
:
:
(体節 21 根本中心の x 変位) (y 変位) (z 変位) (下行に続く)
(体節 21 先端中心の x 変位) (y 変位) (z 変位) (下行に続く)
(体節 21 の楕円軸 1 の向き x 成分) (y 成分) (z 成分) (下行に続く)
(体節 21 の楕円軸 2 の向き x 成分) (y 成分) (z 成分)

また流体力記述行に関しては、ある体節について以下のようなフォーマットで、行数は長手方向分割数、6 列からなります。

(長手方向分割の最初の流体力ベクトルの出発点の x 座標) (下行に続く)
(流体力ベクトルの出発点の y 座標) (流体力ベクトルの出発点の z 座標) (下行に続く)
(流体力ベクトルの x 成分) (流体力ベクトルの y 成分) (流体力ベクトルの z 成分)
:
(長手方向分割の最後の流体力ベクトルの出発点の x 座標) (下行に続く)
(流体力ベクトルの出発点の y 座標) (流体力ベクトルの出発点の z 座標) (下行に続く)
(流体力ベクトルの x 成分) (流体力ベクトルの y 成分) (流体力ベクトルの z 成分)

上記がさらに体節数 (21) だけ繰り返されます。

8.5 グラフ用データファイル

すべてのグラフ用データファイルはプロジェクトフォルダの下の `Output_data` フォルダに置かれます。そしてグラフ用データファイルのフォーマットはすべてのデータファイルについて以下のように共通で、9 行のヘッダ部とその後のデータ記述部からなります。

```
#(グラフのタイトル)  
#(横軸タイトル)  
#(縦軸タイトル)  
#(グラフ中の線の本数)  
#(線 1 タイトル) (線 2 タイトル)...
```

```
# (横軸有次元化係数)
# (縦軸有次元化係数)
# (横軸単位)
# (縦軸単位)
(横軸値 1) (縦軸線 1 値 1) (縦軸線 2 値 1)
(横軸値 2) (縦軸線 1 値 2) (縦軸線 2 値 2)
:
(横軸値最終) (縦軸線 1 値最終) (縦軸線 2 値最終)
```

4 行目は一つのグラフ中に複数の線を描く場合の線の本数です。これが 1 の場合、5 行目は#のみの空行になり、また 10 行目以降も 2 列のみになります。

9. 開発環境

本ソフトウェアの開発には、以下の開発環境およびソフトウェアを使用しています。特に非商用ソフトウェアの作者の方々には深く感謝致します。

Windows

- ・ Windows XP Professional
- ・ ActiveTcl 8.4.6 (<http://www.activestate.com/Products/ActiveTcl/>)
- ・ BLT 2.4z (<http://sourceforge.net/projects/blt/>)
- ・ Togl 1.6 (<http://togl.sourceforge.net/>)
- ・ freeWrapPLUS 6.0 (<http://freewrap.sourceforge.net/>) (Swmsuit のパッケージに含まれる実行ファイル wish windows.exe は、本パッケージに含まれる freewrapPLUS.exe を rename したものです)
- ・ freeWrap 5.61 日本語版 (<http://reddog.s35.xrea.com/wiki/index.php>)
- ・ Intel Visual Fortran Compiler 8.1 (<http://www.intel.com/software/products/compilers/fwin/>)
- ・ SLATEC numerical calculation library (<http://www.netlib.org/>)

Linux

- ・ Vine Linux 2.6r1 (<http://www.vinelinux.org/>)
- ・ ActiveTcl 8.4.6 (<http://www.activestate.com/Products/ActiveTcl/>)

- BLT 2.4z (<http://sourceforge.net/projects/blt/>)
- Togl 1.6 (<http://togl.sourceforge.net/>)
- g77 0.5.24 (<http://www.gnu.org/software/fortran/fortran.html>)
- SLATEC numerical calculation library (<http://www.netlib.org/>)

10. 連絡先

Swumsuit に関する要望, バグ報告, ご意見等は swum-admin_at_swum.org (`_at_` を `@` に変えて下さい) までメールでお願い致します.

参考文献

- [1] 中島・佐藤・三浦, 日本機械学会講演論文集 B 編, 全身の剛体動力学と非定常流体力を考慮した水泳人体シミュレーションモデルの開発, Vol.71, No.705, 1361-1369 (2005).
- [2] 中島, 日本機械学会講演論文集 B 編, 水泳人体シミュレーションモデルによる標準的6ビートクロール泳の力学的考察, Vol.71, No.705, 1370-1376 (2005).
- [3] Numerical Recipes for Fortran77.