

# ThreeD\_path (三次元経路推定マクロ) 使用説明書

2025年10月21日改訂

檜崎友子 (名城大学; [naratomoz@gmail.com](mailto:naratomoz@gmail.com))

塩見こずえ ([shiomikozue@gmail.com](mailto:shiomikozue@gmail.com))

'3D\_path2.01.ipf' は、IGOR Pro (Wavemetrics 社, OR, USA)上で動作するマクロファイルです。本マクロは Johnson & Tyack (2003) で紹介されている計算法に基づいて、3軸の重力加速度と3軸の地磁気、速度、深度データから潜水動物の三次元経路を推定します。この説明書は以下のような構成になっています。

- マクロを使用する前に (データの準備)
- マクロの使い方
- 参考文献など

## 【Appendix】キャリブレーション実験

### 1. マクロを使用する前に (データの準備)

本マクロは、3軸の加速度および地磁気データを用いて、heading, pitch, roll (図1) を計算し、三次元的な移動経路を構築するマクロです。本マクロを使用するには、3軸の重力加速度 ( $G$  or  $m/s^2$ )、3軸の地磁気 (nT)、遊泳速度 (m/s)、滞在深度 (m) のデータが必要です。三次元的な方位のみを算出したいという場合には、速度と深度のダミーデータを用意してください。加速度および地磁気の3軸の向きは、図1と同じように設定してください。

3軸の向きの設定を誤ると正しく算出されないのをご注意ください

本マクロでは、使用するデータのサンプリング間隔が異なる場合、全てのデータを最もサンプリング間隔の大きいものに統一して解析を行います。例えば、加速度データが32Hz、その他のデータが1Hzでサンプリングされた場合、本マクロ内で全てのデータを1Hzに変換して計算を行います。

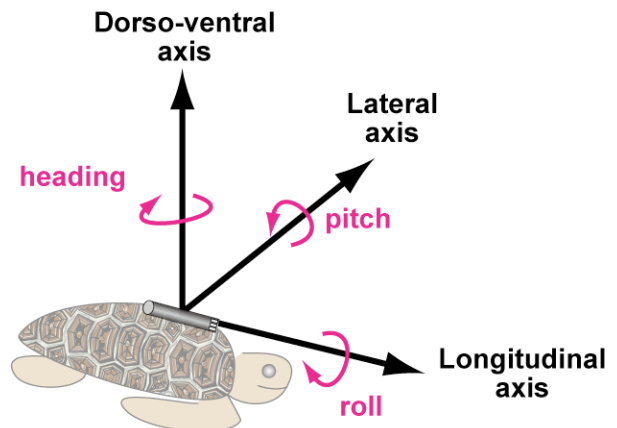


図1 3軸および回転方向の定義

図2は、データロガーを水平に、磁北方向に向けて置いた状態を示しています。このとき、データロガーの背腹方向の軸 (Dorso-ventral axis) の加速度センサーは、 $-9.8 \text{ m/s}^2$  (もしくは $-1\text{G}$ ) を感知しています。また、調査地における地磁気の全磁力 (Total magnetic force) を $F$ 、伏角 (inclination; 下向きが正) を $i$ としたとき、背腹方向の軸の地磁気センサーは $-F \cdot \sin(i) \text{ nT}$ を感知していることになります。調査地の地磁気情報はNOAAのNational Geophysical Data Centerのサイトなどで得ることができます (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/?model=igrf#igrfwmm>)。

推定結果の答え合わせをするために、キャリブレーションデータを取ることをお勧めします。キャリブレーション実験の詳細については【Appendix】をご参照ください。

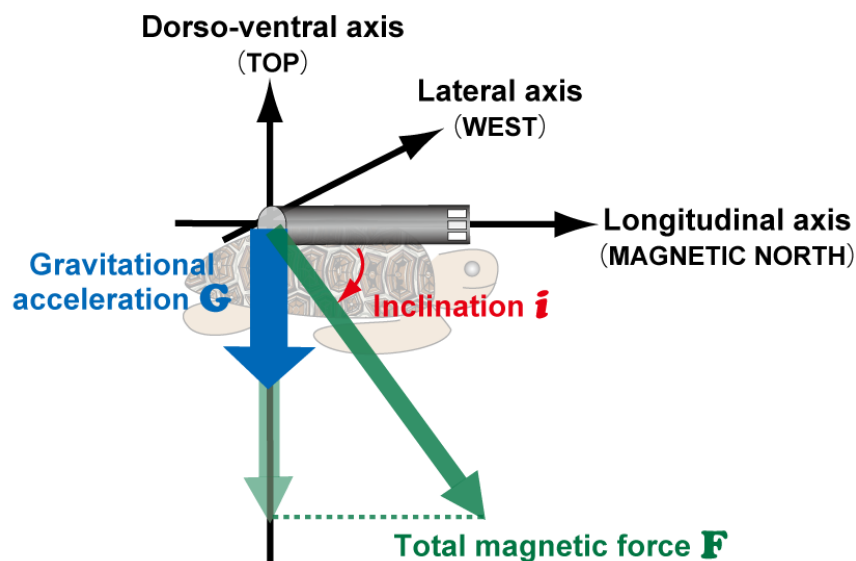
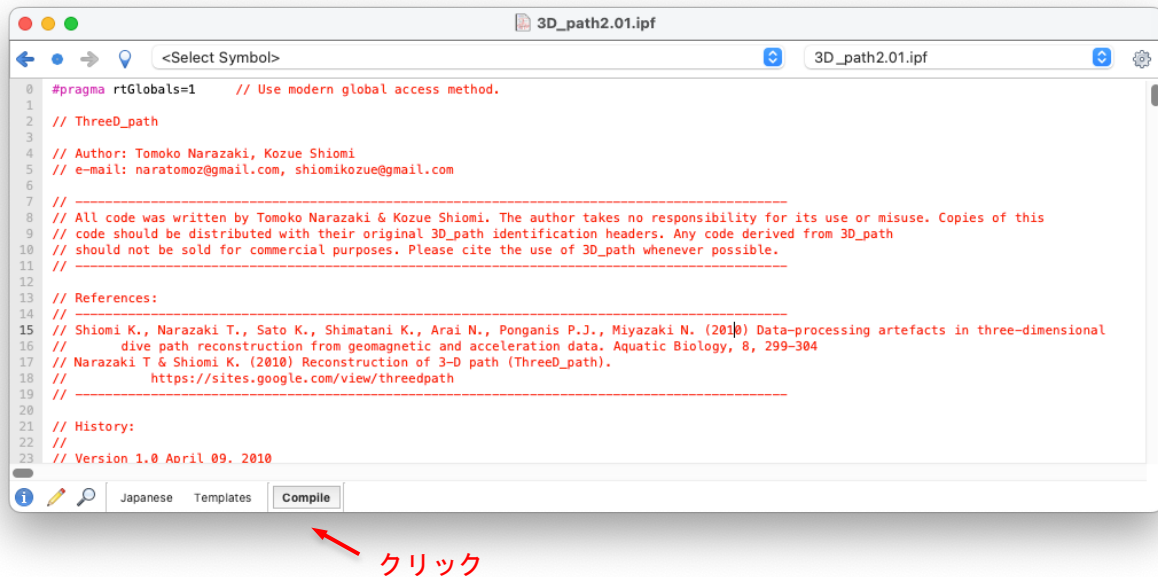


図2 データロガーが記録する加速度および地磁気値

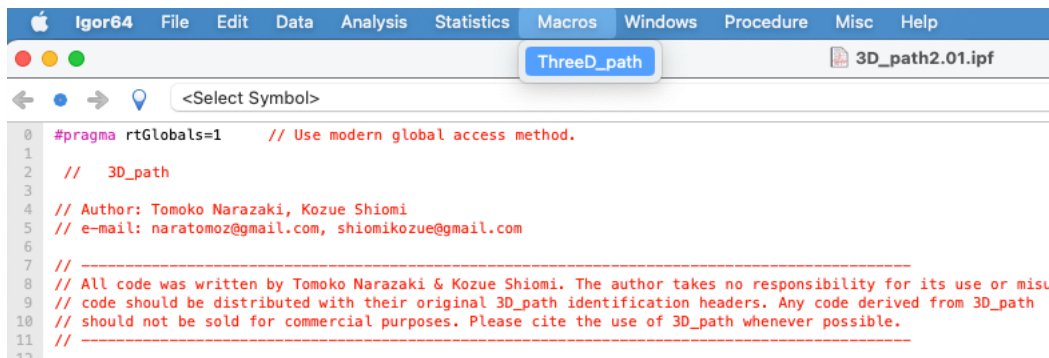
また、データロガーで記録される加速度データには、体軸の傾きの変化によって変化する重力加速度由来の成分と、ストロークなどの動きに由来する動的加速度成分が含まれます。そのため、本マクロを使用する前に、低域通過フィルターなどを用いて、重力加速度由来の成分を抽出する必要があります。重力加速度由来成分の抽出方法および注意点などに関しては、[Shiomi et al. \(2010\)](#)をご参照下さい。

## 2. マクロの使い方

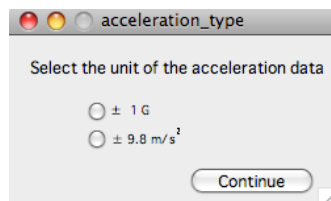
- (1) マクロ公開サイト (<https://sites.google.com/view/threedpath>) から「3D\_path2.01.ipf」をダウンロードする
- (2) Igor Pro (5.05 以上) を起動し、ダウンロードした「3D\_path2.01.ipf」を開く
- (3) 「3D\_path2.01.ipf」を compile する



- (4) Macros→「ThreeD\_path」を起動する



- (5) 使用するデータの加速度の単位 (G もしくは  $m/s^2$ ) を選択する



- (6) データロガーの装着角度 (attachment angle) と調査地の偏角 (declination) を入力する  
ロガー装着角度の補正が必要ない場合、attachment angle にはゼロを入力してください

- Attachment pitch angle: ロガーの pitch 方向の装着角度 (°).
- Attachment roll angle: ロガーの roll 方向の装着角度 (°).
- Attachment heading angle: ロガーの heading 方向の装着角度 (°).
- Geomagnetic declination: 調査地における偏角 (°).

- (7) 正しいウェーブを選択したのち、「Continue」をクリックする

- Longitudinal acceleration: 頭-尾軸の重力加速度 ( $m/s^2$  or G)
- Longitudinal magnetism: 頭-尾軸の地磁気 (nT)
- Lateral acceleration: 左右軸の重力加速度 ( $m/s^2$  or G)
- Lateral magnetism: 左右軸の地磁気 (nT)
- Dorsoventral acceleration: 背腹軸の重力加速度 ( $m/s^2$  or G)
- Dorsoventral magnetism: 背腹軸の地磁気 (nT)
- Speed: 遊泳速度 (m/s)
- Depth: 滞在深度 (m)

- (8) 3次元移動経路の構築

ThreeD\_path を実行すると、以下のウェーブが作成されます。

- **Head** - Dorso-ventral 軸を軸とした時計周りの回転角 (°). 0°は北, 90°は東, -90°は西を示す
- **Pitch** - Lateral 軸を軸とした反時計周りの回転角 (°). 動物が頭を下にした状態でマイナス値をとる。
- **Roll** - Longitudinal 軸を軸とした時計周りの回転角 (°).
- **X3** - 東向きの積算移動距離 (m)
- **Y3** - 北向きの積算移動距離 (m)
- **Z3** - 上向きの積算移動距離 (潜水深度) (m)
- **delX** - 1 サンプル間隔毎の東向きの移動距離 (m)
- **delY** - 1 サンプル間隔毎の北向きの移動距離 (m)

縦軸にY3, 横軸にX3とするグラフは、水平的な移動経路を示します (図3)

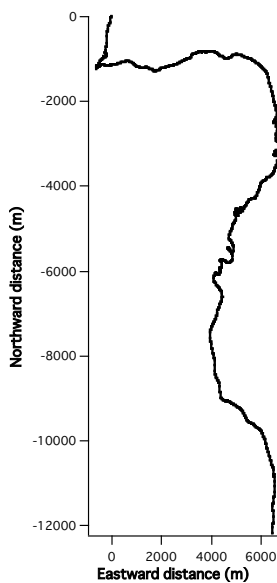


図3 水平的な移動経路の例 (アカウミガメ)

さらに鉛直方向にZ3を加えることで、三次元的な移動経路を示すことができます。

三次元的な移動経路はIgorのGizmo (「Window」→「New」→「3D plot」→「Other...」) やRのscatterplot3dなどを用いて、作成することができます。

※本マクロ (ThreeD\_path) を使って得られた結果を論文発表する際は、MethodsないしAcknowledgementsで以下の2つを引用していただきたいです。

- Shiomi et al. (2010) Data-processing artefacts in three-dimensional dive path reconstruction from geomagnetic and acceleration data. *Aquatic Biology*, 8:299-304.
- Narazaki, T. & Shiomi, K. (2010) Reconstruction of 3-D path (ThreeD\_path).  
<https://sites.google.com/view/threedpath>

### 3. 参考文献など

#### 【アルゴリズム】

Johnson, M.P. & Tyack, P.L.(2003). A digital acoustic recording tag for measuring the response of wild mammals to sound. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 28: 3-12.

#### 【手法および注意点】

Shiomi, K., Narazaki, T., Sato, K., Shimatani, K., Arai, N., Ponganis, P.J. & Miyazaki, N. (2010). Data-processing artefacts in three-dimensional dive path reconstruction from geomagnetic and acceleration data. *Aquatic Biology*, 8: 299-304.

#### 【関連論文】

Shiomi, K., Sato, K., Mitamura, H., Arai, N., Naito, Y. & Ponganis, P.J. (2008). Effect of ocean current on the dead-reckoning estimation of 3-D dive paths of emperor penguins. *Aquatic Biology*, 3: 265-270

Narazaki, T., Sato, K., Abernathy, K.J., Marshall, G. J. & Miyazaki, N. (2009). Sea turtles compensate deflection of heading at the sea surface during directional travel. *The Journal of Experimental Biology*, **212**: 4019-4026.

## 【Appendix】キャリブレーション実験（推定結果の確認）

推定結果の確認のため、キャリブレーションデータを取ることをお勧めします。ここでは3MPD3GT（Little Leonardo社製）を用いたキャリブレーション実験の流れを紹介します。

本実験は、地磁気の乱れが少ない屋外（校庭、砂浜など）で行います。

### (1) Longitudinal軸のキャリブレーション

まずデータロガーをプロペラが上になるようにし、30秒間ほど垂直に置きます（図4左）。このときSurge軸の加速度センサーおよび地磁気センサーで記録されたカウント値は、それぞれ  $-9.8 \text{ m/s}^2$  (-1G) および  $-F \cdot \sin(i) \text{ nT}$  (※) に相当しています。

次に、データロガーのプロペラが下になるようにして、30秒間ほど垂直に置きます（図4右）。このときLongitudinal軸の加速度センサーおよび地磁気センサーで記録されたカウント値は、 $9.8 \text{ m/s}^2$  (1G) および  $F \cdot \sin(i) \text{ nT}$  (※) に相当しています。

(※ F = 調査地の全磁力,  $i$  = 伏角)

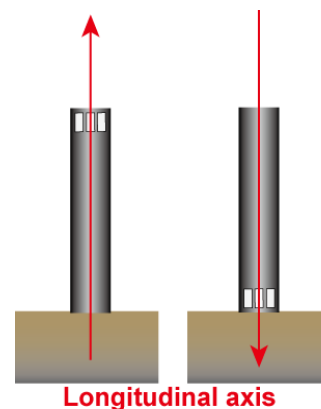


図 4

### (2) Dorso-ventral軸およびLateral軸のキャリブレーション

Dorso-ventral軸およびLateral軸も、Longitudinal軸と同様にキャリブレーションを行います。

まずデータロガーを水平に置き、Dorso-ventral軸の矢印が上を向く状態で約30秒間（図5左）、矢印が下を向く状態で約30秒間（図5右）静かに置きます。

Lateral軸についても、データロガーを水平に置いた状態で、矢印が上向き（図6左）と下向き（図6右）の状態それぞれ約30秒間静かに保ちます。

矢印が上向きの状態では、加速度および地磁気センサーで記録されたカウント値は、それぞれ  $-9.8 \text{ m/s}^2$  (-1G) および  $-F \cdot \sin(i) \text{ nT}$  に相当し、下向きの状態では、それぞれ  $9.8 \text{ m/s}^2$  (1G) および  $F \cdot \sin(i) \text{ nT}$  に相当します。

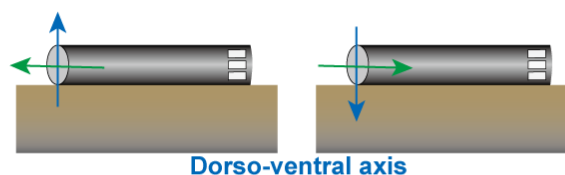


図 5

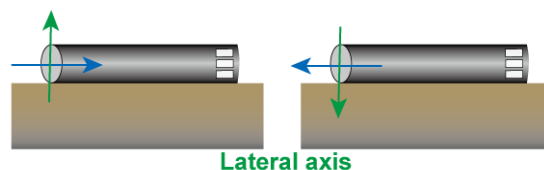


図 6

### (3) 推定結果のチェック

最後に、データロガーを磁北から時計周りにゆっくり一周させます。

3D\_path 2.01を用いてheadingを算出する場合、3軸の向きが誤っていると (e.g. Longitudinal軸の向きを逆向きに設定してしまった等)、headingが正しく算出できません。Headingが正しく算出されているかチェックを行う為に、様々なpitch角やroll角を組み合わせた状態で、時計周りに一周させてみることをお勧めします。

正しく算出されている場合、HeadingはIgor上の時系列グラフで図7のように示されます。

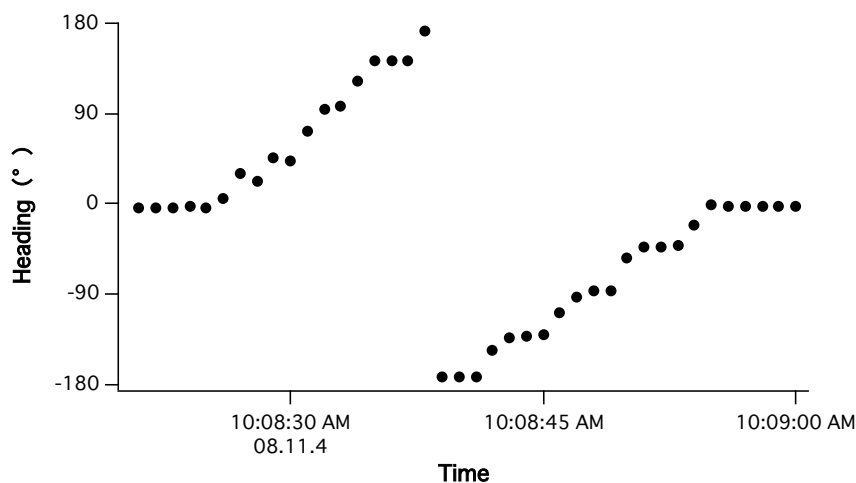


図7  
データロガーを時計回りに一周させた時の heading データ