

GPS ログを用いたハンググライダーの旋回解析システム

Turning Recognition System Using GPS Data For Hang-Gliding Training

塚崎 圭一† 越智 洋司‡ 井口 信和‡
Keiichi Tsukasaki Youji Ochi Nobukazu Iguchi

1. はじめに

近年、センサデバイスの小型化や精度の向上に伴い、センサを用いて人間の行動を支援するシステムの研究が盛んに行われている。GPS センサもその中の一つであり、観光分野での GPS を用いた観光行動調査分析[1]や農業分野での農機の自動走行システム、GPS ロガーを利用して渡り鳥の静止位置をマッピングすることによる未発見の越冬地域の調査 [2]のように GPS による位置情報を分析することによって、幅広い分野で支援システムの研究が行われている。また、2017 年には日本の準天頂衛星みちびきが続々と打ち上げに成功し GPS 衛星と互換性を持った準天頂衛星が多数配備されることによる GPS の測位誤差の改善[3]により、今まで以上の精度の向上が期待され、今後も GPS 位置情報は様々な分野で活用されると考えられる。

2. ハンググライダーと旋回評価

2.1 GPS ロガーとハンググライダー

ハンググライダーの練習や競技大会の審査時には、各選手が GPS ロガーで記録した飛行データを利用している。そしてそれを元に集計採点を行ったり、練習後に軌跡を見るなどの利用がされている。

ハンググライダーは動力を持たない滑空機であるため長時間飛行をするためには高度を稼ぐ必要がある。その際上昇気流に合わせて鳶のように旋回動作を行い上昇する。そのため旋回動作の重要性は極めて高いものであり、ハンググライダーの操縦において基本動作でありながら、最も重要な動作の一つとなっている。赤坂らは航空宇宙学の観点からパラグライダーの実機を用いた飛行実験データと運動方程式を用いて旋回動作のメカニズムを論じている[4]。

2.2 旋回評価の課題

ハンググライダーの GPS データは多数存在するものの、タイムレースの際の順位決めやフライトコンテストの飛行証明、練習時の経路の可視化（鳥瞰図）に留まっており、高さの変化、滑空比、旋回時の上昇率等学習につながる有益な情報を取得できておらず、データが有効活用されていない。さらに、初級者であっても基本的に自身の判断で経路を決め、飛行するため自分のフライトの経路を見るだけではどこがよかったかなどの判断ができず具体的な振り返り行為がしづらく、また客観的評価ができない。

2.3 GPS データによる旋回評価方法の提案

本研究では GPS データを使用した支援システムの一つとして、GPS ログデータを解析することでハンググライダーの飛行軌跡から、パイロットの飛行方法を分析し、上達の支援を行うシステムを試作し評価検討する。

3. 旋回モデルの検討

前述の問題点を解決するために本研究では、フライトの旋回を客観的に評価できるような旋回モデルを検討する。GPS のログデータを用いてハンググライダーの飛行軌跡を解析、旋回動作を行っている部分を検出するシステムを作成する。作成した旋回検出システムによって、旋回中の機体の飛行状況を可視化することにより、パイロットのフライトの旋回データのグラフを確認し旋回の成功例や失敗例を区別、波形による分類をすることによって、これからのフライトの旋回を客観的に評価できるような分類を行う。

3.1 成功モデル

基本的に飛行中に旋回をする目的は上昇気流に乗って高度を獲得することである。よって旋回開始時と旋回終了時の高度を比較し、高度が獲得できていれば旋回は成功したといえる。しかし一概に上昇といっても上昇の仕方はいくつかのパターンがあると考えられる。この項では考えうる上昇のパターンを述べる。

(1)安定上昇型

安定した上昇気流に乗り、上手に旋回を行うと一定の上昇率で上がっていくと考えられる。この時、高度のグラフはほぼ一直線になる。

(2)徐々に上昇型

一般的に上昇気流は低い高度では上昇率が弱く、高度が上がってゆくとだんだんと上昇率が安定して行く。よってこの型の場合、初めの弱いサーマルをうまくとらえる必要がある、この型で上昇ができることは上昇率が低く難しいサーマルをとらえることができるということになる。この時、高度のグラフの始めは傾きが小さく、徐々に傾きが大きくなる。

(3)頭打ち型

上昇気流はその上昇気流のもつ限界高度まで上がると上昇率が下がってくる。つまり始めは上昇気流に乗って上手く上昇していたが、そのサーマルを使い切って上昇率が弱くなったにも関わらずまだその旋回を続けていたことになる。状況によっては有効である場合もあるが基本的には効率は悪い旋回になる。この時、高度のグラフの始めは傾きが大きく、徐々に傾きが小さくなる。

3.2 失敗モデル

旋回の目的は高度の獲得であるため、旋回をしているのにも関わらず、高度が獲得できていなければ成功とはいえずただ高度を失っているだけであり失敗といえる。この項では考えうる失敗（下降）のパターンを述べる。

(1)上昇後下降型

旋回の初めは上がっていたが、上昇気流をつかみきれずにこぼれてしまい、結果下降してしまった場合。この時、

† 近畿大学大学院総合理工学研究科

‡ 近畿大学理工学部

高度のグラフは始め上がり、後に下がっていく波のような形になる。

(2) 下降型

旋回をしたにも関わらず旋回開始時と旋回終了時の高度を比べて下がっていた場合。この時、高度のグラフは右肩下がりに落ちる形になる。

4. 旋回解析方法

4.1 旋回動作の検出

本研究で使用する GPS データはテキスト形式であり、時間、緯度、経度、気圧高度、GPS 高度が書き込まれた行が並んでいる。本データから以下の三つのフィルタにより旋回動作を検出する。また、検出した箇所がフライト全体のどの旋回であるかを図 1 のように赤色で表示する。

(1) 角度フィルタ

GPS ログの点描間隔によって曲線判定の角度の閾値を変化させる役割を持つ。GPS ログは点の集まりであるためログ中の連続する 3 点のベクトルを求めてベクトルの内積を計算し、曲がっている箇所の外角 θ を求めることにより軌跡がどれだけ曲がっているかを判

定できる。しかし各 GPS データによってその秒数間隔に違いが生じるため、図 2 に示すように、点描間隔の違いによって旋回判定の角度の閾値が変わる。そのためファイル読み込みの際に点描間隔を検出しその秒数間隔により角度の閾値を変化させることにより検出精度を上げている。

(2) 地点分別フィルタ

旋回を角度の連続性によって分別する役割を持つ。一度のフライトの中で様々な地点で何度も旋回は行われる。そのため、各旋回が一連のものではなく、別の地点でのものと分別する必要がある。そこで、前後の点との時間データの差によって旋回を分別する。

(3) 旋回判定フィルタ

旋回継続の時間によって旋回しているかどうかを判定する役割を持つ。地点分別フィルタで地点によって旋回を分けることはできた。しかし、しっかり上昇気流に乗った旋回なのか、少しの間曲がっただけなのか、1.2 周試しに旋回してただけなのかの分別がつかないため、旋回の誤検出が多くなってしまふ。そのため、地点によって分別された一つ一つの旋回データの時間の長さによってしっかり意図して旋回を継続しているかどうかを判定する。

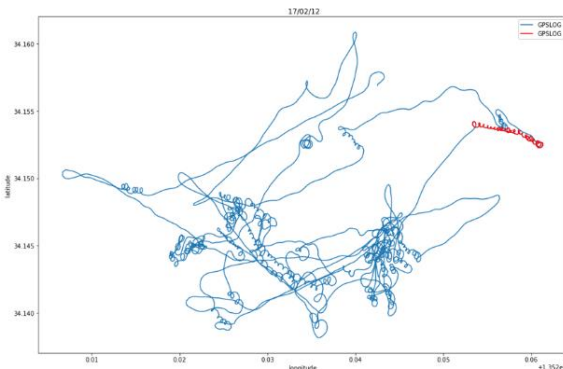


図 1. 解析箇所の表示

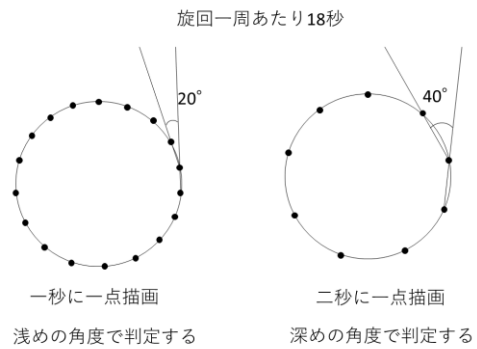


図 2. 角度の閾値の変化

4.2 旋回区間のデータ欠損の補完

実際には旋回を継続中であっても一瞬だけ旋回がずれて角度の条件を満たさない点が出てくることがある。しかし一度角度フィルタを通して角度の条件を満たさない点のデータは入っていない。そのため、現状の旋回データにはところどころ飛び飛びになったデータが入っている。よって、より正確なデータにするために角度フィルタによって飛ばされたデータを補完する必要があるため、三つのフィルタを通過したデータセットの先頭と末尾の行番号を取得し、フィルタを通す前のデータからその区間をスライスして取り出すことで、欠損データの補完を行う。

5. 評価実験

5.1 評価目的と方法

本旋回検出システムの精度を明らかにするために、実際のログデータの軌跡を人が見て数えた旋回の数と本システムが検出した旋回数を求め、両者の数の差を比較検討することにより今回作成した旋回検出システムの旋回検出の精度を評価する。

(1) フライヤー 20 人分の実際のフライトログデータ (IGC ファイル) を用意する。

(2) その各フライトの軌跡を人が目視で見て旋回箇所の数を数える。

(3) 次に本システムを使って各フライトのデータを読み込み、旋回箇所の数を検出する。

(4) 目視での回数とシステムで検出した回数より相対誤差を求め、相対誤差の絶対値をとり、平均と標準偏差を求める。また、得られた旋回箇所のデータから、3 章で述べた旋回モデルの有用性を検証する。

5.2 実験結果と考察

目視で数えた旋回箇所の数 (横軸) と本システムで検出した旋回箇所の数 (縦軸) を表 1 にまとめ、結果をグラフにプロットし、散布図に表す (図 3)。表 1 より各フライヤーの旋回回数の相対誤差の平均が 11.6%、標準偏差が 8.5% となった。図 3 を見ると人が数えた旋回回数よりプログラムが認識したほうが多く旋回を認識していることがわかる。これは若干離れている旋回を目視では一つと判断したが、本システムは一度途切れた二つの旋回であると認識したた

表 1 検出精度評価実験結果

名前	旋回回数(目視)	旋回回数(システム)	相対誤差の絶対値
A	11	12	9.1%
B	11	12	9.1%
C	11	12	9.1%
D	13	16	23.1%
E	18	20	11.1%
F	19	23	21.1%
G	16	16	0.0%
H	12	10	16.7%
I	11	15	36.4%
J	10	11	10.0%
K	17	17	0.0%
L	16	18	12.5%
M	15	17	13.3%
N	17	19	11.8%
O	17	18	5.9%
P	18	17	5.6%
Q	18	20	11.1%
R	13	15	15.4%
S	12	12	0.0%
合計	275	300	9.1%
平均	14.47	15.79	11.6%
標準偏差	2.96	3.46	8.5%

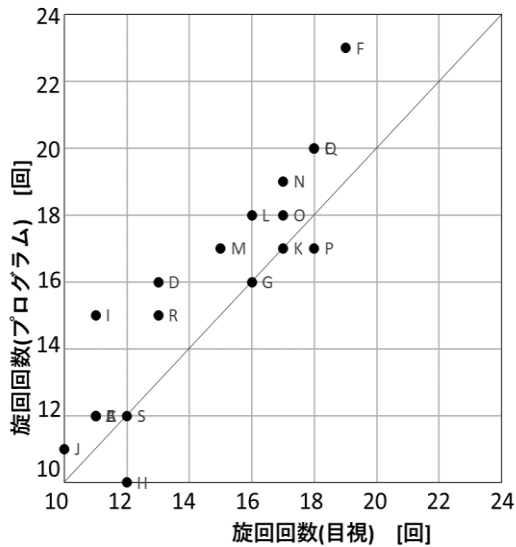


図 3 検出精度評価実験結果

めだと考えられる。標準偏差より値が大きくはずれている旋回を見たところ軌跡の線が重なっているところがあった。これは線が重なると目視では数えきれないが、本システムは関係なく数えられるため回数に差ができたと考えられる。

5.3 旋回モデルの妥当性の検証

本実験のログデータから旋回箇所を抽出し、高度の変化（黄線）と速度の変化（青線）を時系列で可視化することで、3章で述べた旋回モデルに該当するかを検証する。

(1)成功例 (図 4-1, 4-2, 4-3)

図 4-1 のグラフにおいて、高度のグラフはほぼ一直線上昇しておりこれは安定上昇型に分類できる。図 4-2 のグラフにおいて、高度のグラフの始めは傾きが小さく、徐々に傾きが大きくなっており、これは徐々に上昇型に分類できる。図 4-3 のグラフにおいて、高度のグラフは始め傾きが大きく、徐々に傾きが小さくなっており、これは上昇頭打ち型に分類できる。

(2)失敗例 (図 5-1, 5-2)

図 5-1 のグラフにおいて、高度のグラフは始め上がり、後に下がっていく波のような形になっており、これは上昇後下降型に分類できる。図 5-2 のグラフにおいて、高度のグラフは右肩下がりに徐々に高度が落ちる形になっており、これは下降型に分類できる。

(3)例外型 (図 6)

図 6 のように、前述に挙げた分類に当てはまらない型のものがあつた。図 6 を見ると、黄色の高度のグラフが波打つように細かく変化している。これはこの時の上昇気流が弱かったため風上に向かった時にのみ上昇し、風下に流れると下降するという動作が繰り返されたと考えられる。

6. おわりに

旋回検出の精度について、今後角度の閾値や地点判定の閾値を調整することで検出精度の向上が可能であると考えられる。旋回検出をして、パターン分類法に当てはめた結果、考案した分類法に当てはまるパターンが多くあつたが中には例外パターンも発見された。さらに多くのデータを取ればまたほかのパターンが発見される可能性があるため、今後も解析を進めて飛行技術を客観的に評価できるようにすることにより、より一層上達の支援につながると考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K01098 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 矢部直人 有馬貴之 岡村祐 角野貴信, GPS を用いた観光行動調査の課題と分析手法の検討, 観光科学研究, 第三号, pp17-30, (2010 年)
- [2] Lykke Pedersen, Kasper Thorup Anders P. Tøttrup, "Annual GPS tracking reveals unexpected wintering area in a long-distance migratory songbird", Journal of Ornithology, Volume 160, Issue 1, pp 265-270, 2019
- [3] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局 みちびき HP, http://qzss.go.jp/overview/services/sv04_pnt.html
- [4] 赤坂剛史・別府護郎・東昭, パラグライダーの旋回メカニズムの検討, 日本航空宇宙学会論文集 第 47 巻 第 540 号, pp9-15 (1999 年 1 月)
- [5] Ella Browning, Mark Bolton, Ellie Owen, Akiko Shoji, Tim Guilford, Robin Freeman, "Predicting animal behaviour using deep learning: GPS data alone accurately predict diving in seabirds", Ecology and Evolution, Volume 9, Issue 3, Pages 681-692, 2018

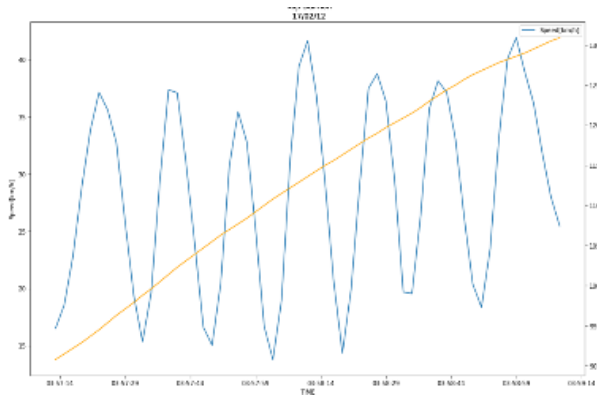


図 4-1 安定上昇型

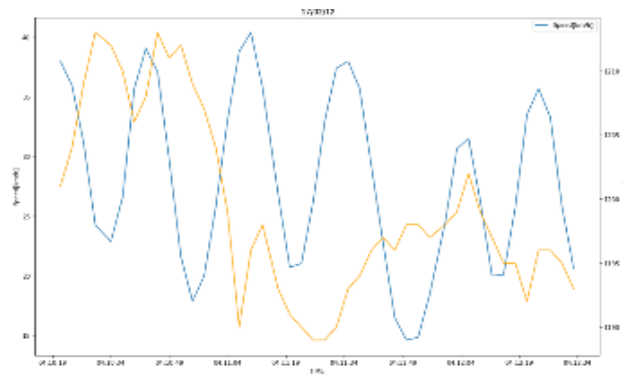


図 5-1 上昇後下降型

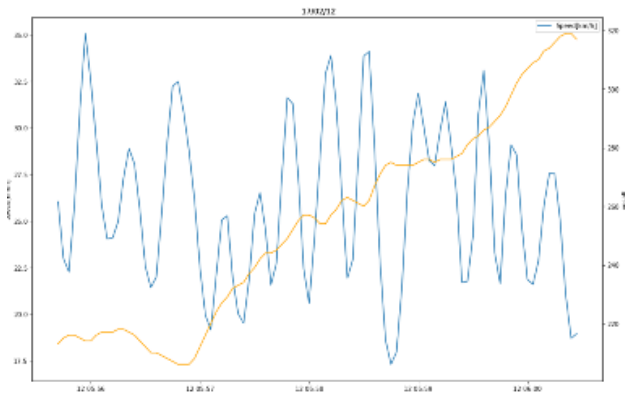


図 4-2 徐々に上昇型

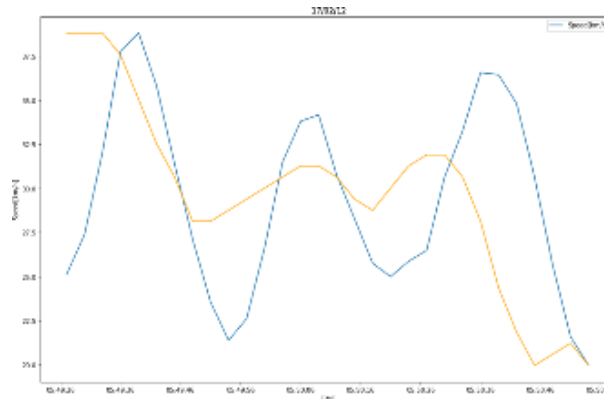


図 5-2 下降型

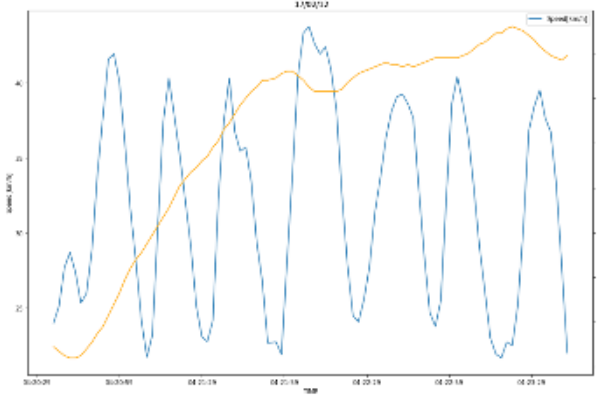


図 4-3 上昇頭打ち型

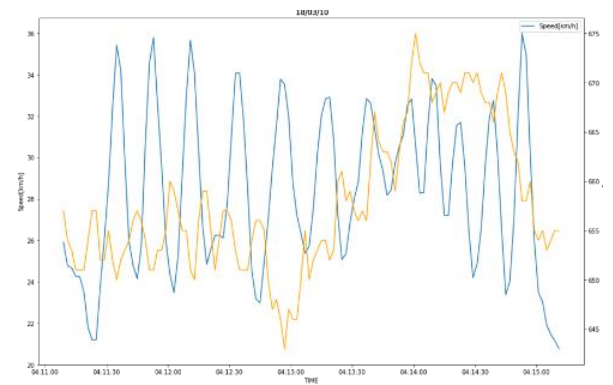


図 6 例外型のグラフ