

腰曲げ角を設計変数としたスキージャンプ飛翔の最適化

瀬尾 和哉

The optimization of the hip bend in Ski jumping flight

Kazuya SEO

Yamagata Univ. Dept. of Education, Art and Science
Kojirakawa 1-4-12, Yamagata 990-8560, Japan

Multi-objective optimization of ski jumping flight was carried out, and then the trade-offs between the objective functions could be visualized using Self-Organizing Maps. It was assumed that there are four objective functions and 29 control variables in this case. Three of the four objective functions are concerned with the style point, and the other is the flight distance. It was found that there is a sweet spot in Pareto-optimal solutions. In the case of the sweet spot, the hip bend angle is almost 50 degrees during the flight.

Key Words : ski jumping flight, hip bend, optimization

1. 緒 言

スキージャンプは、4つの局面に分けられる。アプローチ、テイクオフ、フライト、ランディングである。我々は以前、フライト局面に対して、飛距離最長等を目的とした最適化を行った^{1),2)}。この際、制御(設計)変数は、V字開き角、前傾角(スキー板と下腿のなす角度)であった。今回の改善点は、制御変数として、これらに加えて、腰曲がり角と腕角を加えた点である。これは、腰曲がり角や腕角をも実験変数として含んだ実験結果が報告された³⁾ため、実現可能になった。これによって、準静的の仮定をおけば、テイクオフ局面からフライト局面にわたり、最適化が出来るようになった。今回、飛距離と飛型に関する目的関数を設定し、最適化した。実験条件の組み合わせが不明の為、得られた最適化結果を直ちに実践へ活かせるとは考えていないが、最適スキルを明らかにする手法自体は確立した。

2. スキージャンプ飛翔の最適化

2・1 目的関数

スキージャンプは、ジャンプ台を滑り降りるアプローチに始まり、踏切、滑空、着地の4局面に分けられる。今回は、踏切局面(踏切った瞬間から0.4秒までの過渡的的局面)から滑空局面(踏切後0.4秒以降～着地体制移行前までの安定した滑空局面)における4目的最適化の結果を報告する。

スキージャンプの勝敗は、トータルポイントシステムで決まる。トータルポイントとは、飛型点と飛距離点の合計点である。飛距離はシミュレーション可能であり、飛距離点として数値化できる。本最適化の1つ目の目的は、飛距離である。一方、飛型は審判の主観による。一般的にいて、感性に関わる量、例えば、きれい、強そう、気持ちいい等、を数値化することは困難である。飛型点もそれに当たる。スキージャンプの飛行局面の主な減点例⁴⁾は、「風をうまく利用できていない」、「肩、腕を必要以上に揺らす」、「スキーが揺れる」、「手をぐるぐる回す」等である。そこで、今回、飛型点=安定性と解釈し、各関節角の分散を見積もった。各関節の角度が飛行

^{*1} 正員, 山形大学 (〒990-8560 山形市小白川 1-4-12)
E-mail: seo@e.yamagata-u.ac.jp

Table1 Control variables

#	Control variables	Ranges	#	Control variables	Ranges
1	$W_0 @ 0\text{sec.}$	-4~1m/s	16	$\sigma_0 @ 0\text{sec.}$	30~90 °
2	$\theta_0 @ 0\text{sec.}$	-11~-8 °	17	$\sigma_1 @ 1\text{sec.}$	0~90 °
3	$Q_0 @ 0\text{sec.}$	-30~10 °/s	18	$\sigma_2 @ 2\text{sec.}$	0~90 °
4	$\beta_0 @ 0\text{sec.}$	60~90 °	19	$\sigma_3 @ 3\text{sec.}$	0~90 °
5	$\beta_1 @ 1\text{sec.}$	40~90 °	20	$\sigma_4 @ 4\text{sec.}$	0~90 °
6	$\beta_2 @ 2\text{sec.}$	40~90 °	21	$\sigma_5 @ 5\text{sec.}$	0~90 °
7	$\beta_3 @ 3\text{sec.}$	40~90 °	22	$\sigma_6 @ 6\text{sec.}$	0~90 °
8	$\beta_4 @ 4\text{sec.}$	40~90 °	23	$\phi_0 @ 0\text{sec.}$	180~201 °
9	$\beta_5 @ 5\text{sec.}$	40~90 °	24	$\phi_1 @ 1\text{sec.}$	170~201 °
10	$\beta_6 @ 6\text{sec.}$	40~90 °	25	$\phi_2 @ 2\text{sec.}$	170~201 °
11	$\lambda_1 @ 1\text{sec.}$	0~40 °	26	$\phi_3 @ 3\text{sec.}$	170~201 °
12	$\lambda_2 @ 2\text{sec.}$	0~40 °	27	$\phi_4 @ 4\text{sec.}$	170~201 °
13	$\lambda_3 @ 3\text{sec.}$	0~40 °	28	$\phi_5 @ 5\text{sec.}$	170~201 °
14	$\lambda_4 @ 4\text{sec.}$	0~40 °	29	$\phi_6 @ 6\text{sec.}$	170~201 °
15	$\lambda_5 @ 5\text{sec.}$	0~40 °			

3. 結果

まず、4目的最適化の前に2目的最適化の結果を示す。Figure2は、 $F1$ （-飛距離）と $F2$ （前傾角 β の分散）のみを目的関数とした最適化の結果である。両目的関数が同時に最小（最適）になることはなかった。飛距離のみを重視すれば、190mの飛行も可能であるが、前傾角 β の分散が増大する（安定性が失われる）。一方、安定性を重視すれば、飛距離は短くなってしまう。最適解は、両目的関数間にトレードオフのあるパレート解となった。なお、今回、着地局面のテレマーク姿勢は考慮していない。テレマーク姿勢への姿勢変化を考慮すれば、飛距離は減少する、と考えられる。

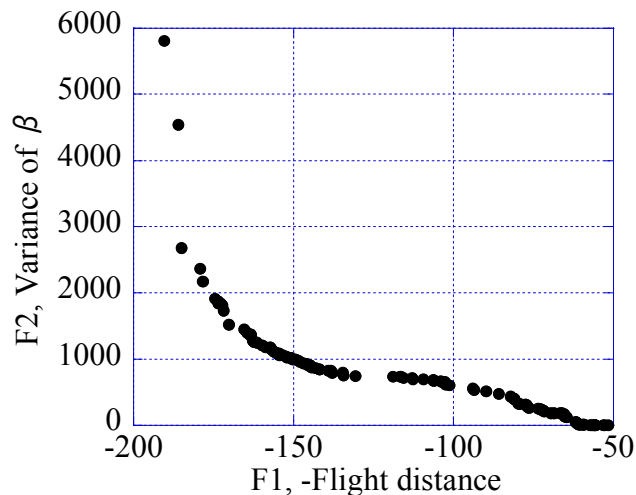


Figure2 Trade-off between objective functions

4 目的の場合も 2 目的と同様に目的関数間にトレードオフのあるパレート解になった。目的関数間のトレードオフを自己組織化マップ (SOM) により, Figure3 に示した。SOM の青色が最低値, 赤色が最高値である。今回は, 最適化=最小化のため, F1 から F4 の全てに関して, 青色ほど良いことになる。4 目的の場合, 飛距離のみの極限最適解でも飛距離は 170m 程度であった。4 目的でも最適化が適正に進んでいけば, Figure2 で示した 2 目的の場合と同様, 190m 程度の飛距離は算出されるはずである。これは, 4 目的で探索空間が広がったため, 同じ人口と世代数の GA では, 2 目的と同レベルまで最適化が進行していないためと考えられる。ただし, 飛距離 170m も十二分に良いフライトではある。全目的関数が同時に最小化される唯一の最適解は存在しないが, パランスよく目的関数値が小さくなるスイートスポットは, 上部中央付近である。この最適解を Figure4 に示した。飛距離は 147m である。一番下の実線は大倉山シャンツエの斜面を表し, その上の実線が重心の飛行軌跡, さらに横から見たジャンパーの姿勢と上から見た V 字開き角を示している。同じ飛翔の各角度の時間変化を Figure5 に示した。踏切局面では, 迎え角 (スキー板と飛行軌跡方向のなす角度) の絶対値は小さい (負になっている)。これは, ジャンパーに働く抗力と揚力が小さい事を意味する。一方, 後半になると迎え角は約 15° まで増大する。踏切局面で迎え角が小さいということは, 踏切時に高く飛び上がりすぎない方が良い事を意味している。今回, カンテに対して最大 4m/s の上向き速度を制御範囲として設定 (Table1) したが, 得られたパレート解では 1~2m/s 程度であった。踏切局面では, 例え高さを稼げなくとも迎え角を小さくして, 抗力を小さくする事が本質である。高さを稼げるならば, それに越したことはないが, 高さを稼ぐためには, 上向きに飛び上らねばならず, そうすると迎え角は負になってしまう。また, 飛行の全体にわたって, 下腿がスキー板に対して起き上がっている分だけ, 腰を曲げ, 頭から突っ込むような飛行になっている。腰曲げ角 σ は 50° 弱でほぼ一定である。腕角 ϕ は常に約 190° , つまり腕は気を付けの姿勢よりも背中側にある。V 字開き角 λ は, 飛行全体にわたって 15° 以下であり, やや小さい印象を受ける。これは大きな λ に対する実験が十分に行われていない為である。

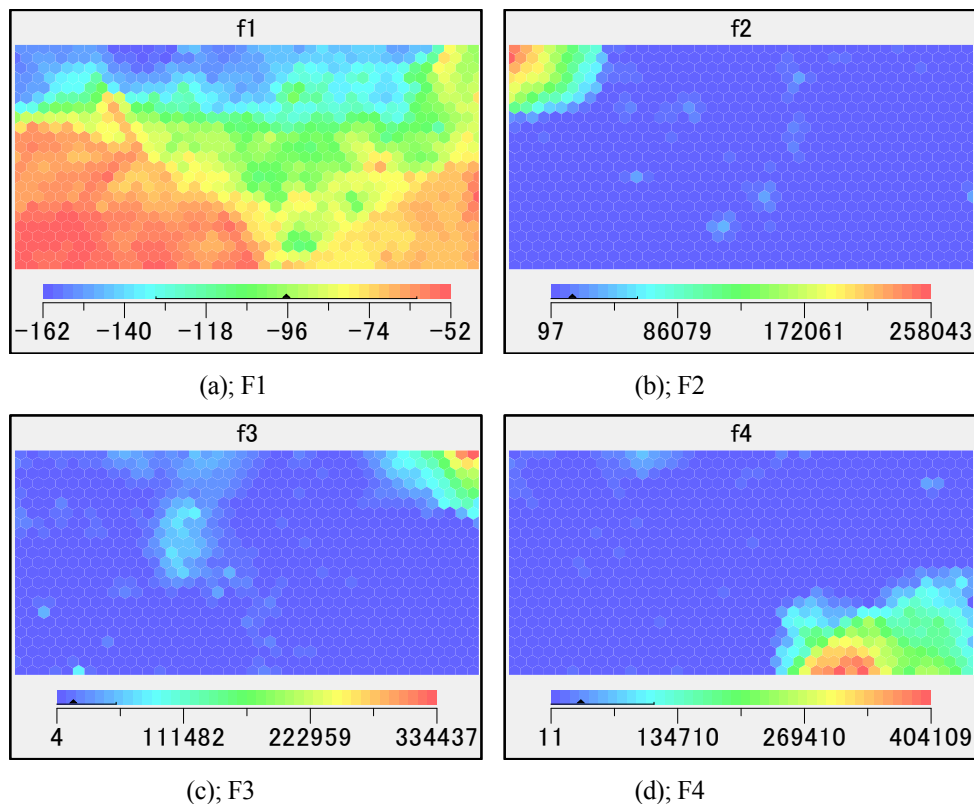


Figure3 Self-organizing maps for objective functions

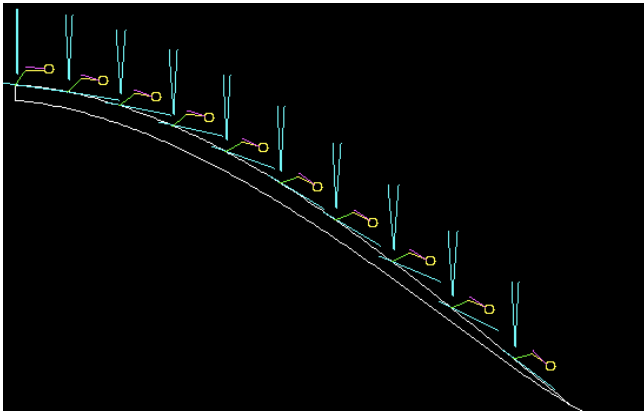


Figure4 Flight trajectory.

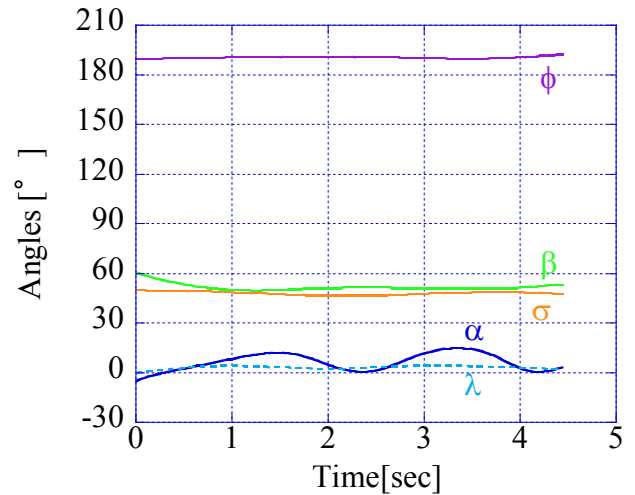


Figure5 Time variations of angles.

4. 結 語

スキージャンプの踏切から滑空局面の最適化を行った。今回、腰曲げ角を制御変数に加えたことにより、前傾角（スキー板と下腿のなす角）が大きくなった。これらの最適化結果は、実験により測定した空気力が変われば、変化する。スキージャンプの場合、ジャンパーが制御できる変数はもっとある。また今回、制御変数に設定した前傾角、前屈角、腕角に限っても実験済みの角度の組合せは十分ではない。今後、様々な姿勢に対する空力応答局面の構築を行う必要がある。

謝 辞

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究（A）No.23240090）の助成を受けた。感謝の意を表す。

文 献

- (1) Seo K., Watanabe I. and Murakami M., "Aerodynamic force data for a V-style ski jumping flight", *Sports Engineering*, **7** (2004), pp.31-39.
- (2) Seo K., Murakami M. and Yoshida K. "Optimal flight of a V-style ski jumping", *Sports Engineering*, **7** (2004), pp.97-103.
- (3) 山辺芳, "スキージャンプ踏み切り局面か初期飛行局面に及ぼす影響 -バイオメカニクスの観点から-", 広島大学大学院教育学研究科博士論文 (2011) .
- (4) 古野嵩俊, 『ジャンプが 10 倍楽しめる観戦ガイドブック』, マイクロウェーブ, 1998.
- (5) Sasaki, D., and Obayashi, S., "Efficient Search for Trade-Offs by Adaptive Range Multi-Objective Genetic Algorithms," *AIAA Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, **2** (2005), pp.44-64.