

## 時差ぼけダメージに基づいたパイロットのフライトプラン決定

### Optimization of pilots' flight plans to reduce the jet lag

<sup>1</sup>中村拓人・<sup>2</sup>野一色功・<sup>3</sup>太田健一郎・<sup>4</sup>松田孟留

<sup>1</sup>同志社大学生命医科学部, <sup>2</sup>島根大学総合理工学部,

<sup>3</sup>京都大学大学院農学研究科, <sup>4</sup>東京大学大学院情報理工学系研究科

<sup>1</sup>Takuto Nakamura, <sup>2</sup>Tsutomu Noishiki, <sup>3</sup>Kenichiro Ota and <sup>4</sup>Takeru Matsuda

<sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering, Faculty of Life and Medical Science, Doshisha university, 1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan

<sup>2</sup>Department of Mathematics, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

<sup>3</sup>Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa, Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

<sup>4</sup>Department of Mathematical Informatics, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

In Japan, the shortage of pilots is becoming more and more serious. To handle this problem, efficient assignment of pilots to flights is necessary. In this study, we focus on the jet lag in pilots and search for flight plans with least jet lag. We model the damage of jet lag in one flight as a product of two factors: first is a function of the time difference between origin airport and destination airport, and second is a function of the arrival time on destination airport time. Then, the cost of each flight plan is defined as the sum of damages of all flights in the plan. Finally, flight plan with minimum cost is searched. This problem can be seen as one generalization of the traveling salesman problem. We computed the optimal flight plan from real flight data.

## 1 導入

私たちは、「パイロット」の存在なしでは船舶を除いて海外への渡航は有り得ない。しかし、現在パイロットの確保が難しい時代となってきた。パイロット確保の深刻化の主な例として、

- 2030 年問題（パイロットの高齢化と大量退職）
- 若手の採用が進まない（1 人につき育成費が数億円かかる）
- パイロット志望の若者に課せられる高額な費用（1300 万～2600 万円）
- LCC（格安航空会社）の相次ぐ参入（パイロット需要増加に追いつかない）
- 外国人パイロットの採用もうまくいかない（海外 LCC の方が待遇が良い）

などが挙げられ、現在は多くの日本の航空会社では競争が激化する一方で、人員の省力化が図られている。今後はパイロットの安全を確保しつつ現状維持で効率よくフライトプランを決定しなければならない航空会社が増えるように思われる。ここで、パイロットが海外のフライトの際にどうしても避けられない要因は「時差ボケ」である。パイロットにとって何よりも体調管理が大事であり、「良質な睡眠」が求められる。そこで、時差ボケによるダメージを最小限に抑えるにはどうしたらよいかを数学的に捉え考察する。

## 2 数理モデル

フライトプラン決定問題を数理モデルを用いて定式化する。

## 2.1 時差ぼけダメージの定義

モデリングに際して、時差ぼけによるダメージのもつ性質を考えてみる。簡単のために、ダメージは出発地と到着地の現地時間のみ依存することにする。体内時間は出発地の現地時間に調整されているとする。1点目として、時差ぼけは、体内時間によって変化するであろう。つまり、到着時の体内時間が夜の方が昼の場合よりも調整が容易と考えられる。2点目として、時差ぼけは体内時間と到着地の現地時間のずれの大きさに依存するであろう。つまり、ずれが大きいほど調整が困難と考えられる。

以上の考察をもとに、時差ぼけによるダメージを

$$y = f(t_0)g(t_1 - t_0) \quad (1)$$

$$f(t) = -\frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{12}t\right) + \frac{3}{2} \quad (2)$$

$$g(t) = \sin^2\left(\frac{\pi}{24}t\right) \quad (3)$$

とモデル化する。ここで、時間の単位は時 (hour) としている。関数  $f$  はリセットの大変さを表している。体内時間が夜よりも昼のほうが調整が大変であるという仮定を表す。関数  $g$  はずれによるダメージを表している。ずれが大きいほど調整が困難という仮定を表す。

たとえば、成田を11時に出発し、12時間のフライトによりニューヨークに9時に到着したとする。このときの時差ぼけダメージは、成田とニューヨークの時差が14時間なので、

$$y = f(11 + 12)g(9 - (11 + 12)) = f(23)g(-14) \quad (4)$$

と定まる。

## 2.2 最適フライトプランの計算

ここでは、複数の空港をパイロットが飛び回る順番をフライトプランとよぶ。各フライトプランに対して、 $i$  番目のフライトにおける時差ぼけダメージを  $y_i$  とし、ダメージの総和

$$\sum_{i=1}^n y_i \quad (5)$$

が最小となるフライトプランを計算する。

数値実験では、出発地と到着地が同じ空港の場合と異なる空港の場合を調べた。出発地と到着地が同じ場合、この問題は巡回セールスマン問題 [2] に近いが、枝コストが時刻に依存する点が異なっている。

## 3 実験結果

実際の航空データを [1] より取得し、これに対して最適フライトプランを全探索により求めた。図1の12の空港に注目した。これらの空港間のフライト時間は表1のようになる。また、各空港の時差は表2のようになる。

正午にNRTを出発し、すべての空港を1度ずつ訪れるフライトプランのうち、ダメージ総和が最小になるものを図2に示す。最後の到着地は日本の裏側にあたるGIGであった。

次にNRTを出発し、再びNRTへ戻るフライトプランを調べた。正午に出発したときの、ダメージ総和が最小になるフライトプランを図3に示す。出発時刻を変え、深夜0時にNRTを出発し再び戻るフライトプランも計算した。ダメージ総和が最小になるフライトプランを図4に示す。

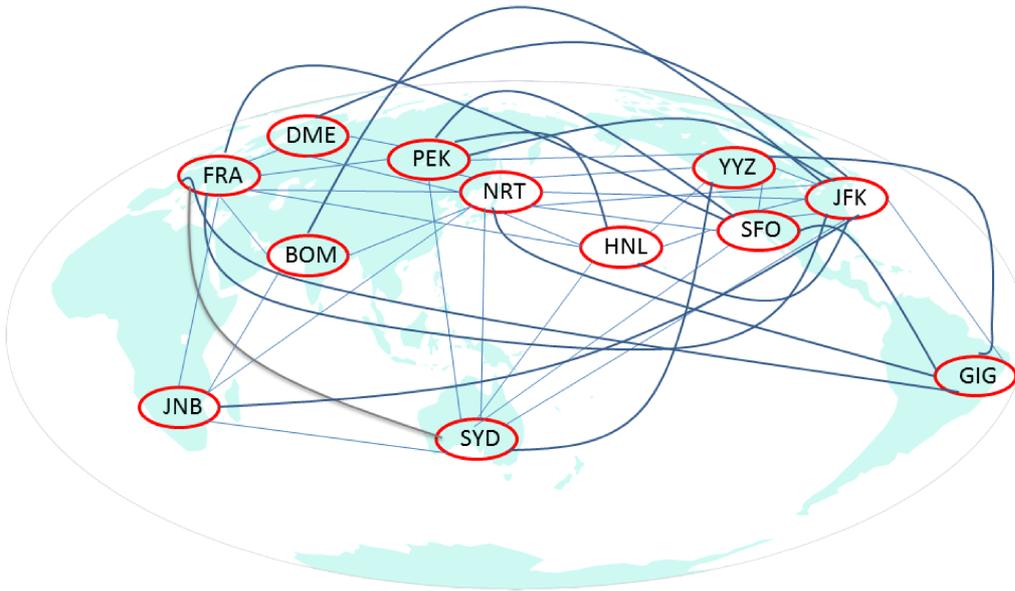


図 1: 今回注目した 12 の空港

表 1: 空港間のフライト時間 (運行がない場合は-1にしている)

|     | NRT | SYD | HNL | SFO | YYZ | JFK | GIG | FRA | JNB | DME | BOM | PEK |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| NRT | 0   | 10  | 7   | 9   | 12  | 13  | 26  | 12  | 18  | 10  | 10  | 4   |
| SYD | 10  | 0   | 10  | 14  | 20  | 21  | -1  | 21  | 14  | -1  | -1  | 12  |
| HNL | 9   | 10  | 0   | 5   | 10  | 10  | -1  | 21  | -1  | -1  | -1  | 13  |
| SFO | 11  | 15  | 6   | 0   | 5   | 5   | 17  | 11  | -1  | -1  | -1  | 12  |
| YYZ | 13  | 22  | 11  | 6   | 0   | 2   | 11  | 8   | -1  | -1  | -1  | 13  |
| JFK | 13  | 23  | 11  | 7   | 2   | 0   | 10  | 8   | 15  | 10  | 18  | 13  |
| GIG | 26  | -1  | -1  | -1  | 11  | 11  | 0   | 11  | -1  | -1  | -1  | -1  |
| FRA | 12  | 21  | 21  | 11  | 8   | 9   | 12  | 0   | 11  | 3   | 8   | 9   |
| JNB | 22  | 12  | -1  | -1  | -1  | 19  | -1  | 11  | 0   | -1  | 9   | 14  |
| DME | 10  | -1  | -1  | -1  | -1  | 10  | -1  | 4   | -1  | 0   | -1  | 7   |
| BOM | 8   | -1  | -1  | -1  | -1  | 20  | -1  | 9   | 9   | -1  | 0   | -1  |
| PEK | 3   | 12  | 9   | 11  | 13  | 14  | -1  | 10  | 15  | 8   | -1  | 0   |

表 2: 各空港の時差 (標準時からのずれ)

| NRT | SYD | HNL | SFO | YYZ | JFK | GIG | FRA | JNB | DME | BOM | PEK |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 9   | 10  | -10 | -8  | -5  | -5  | -3  | 1   | 2   | 3   | 5.5 | 8   |

### ダメージ総和最小(リターンなし)

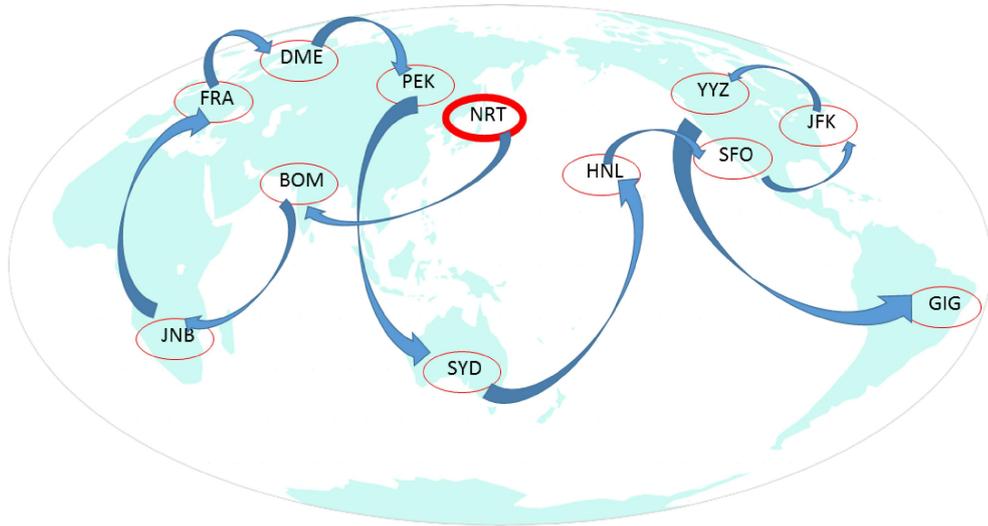


図 2: ダメージ総和の最小解 (リターンなし, 正午スタート)

### ダメージ総和の最小解(正午スタート)

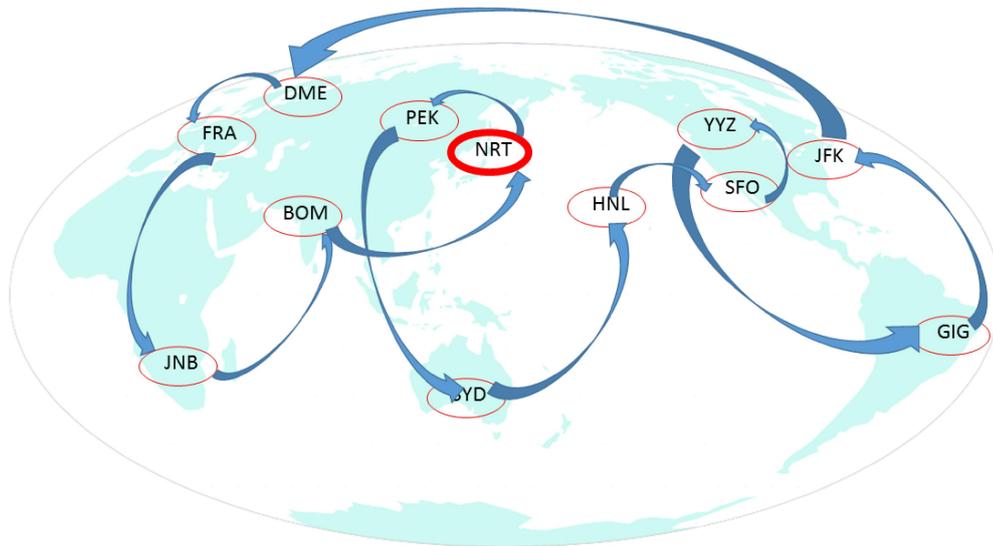


図 3: ダメージ総和の最小解 (リターンあり, 正午スタート)

## ダメージ総和の最小解(深夜0時スタート)

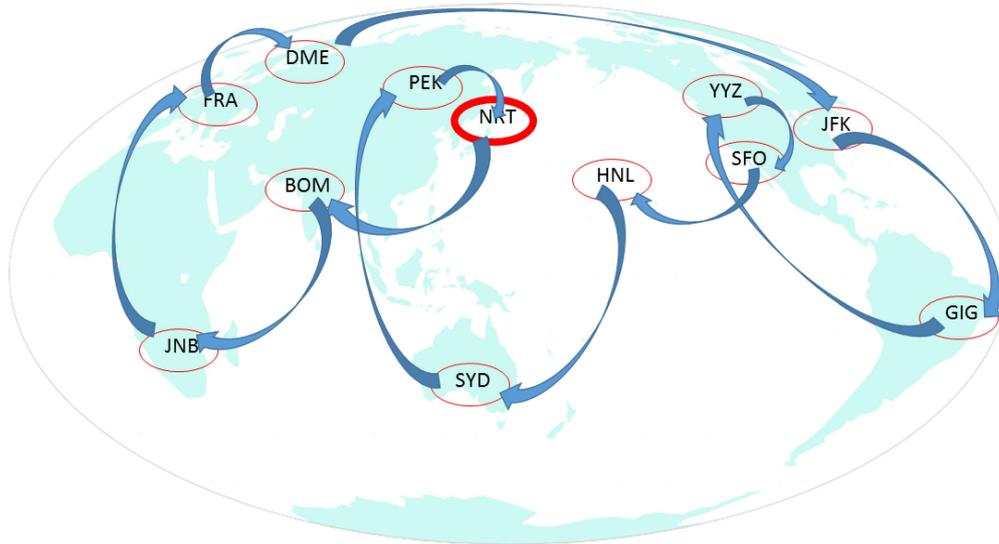


図 4: ダメージ総和の最小解 (リターンあり, 深夜0時スタート)

## 4 考察

結果から、時差ボケダメージの総和を最小にするルートは西または東の一方向の移動になることが分かった。東京を正午に出発した場合と深夜に出発した場合とで完全に逆回りの経路が選択されることが分かった。これは、定義した時差ぼけ関数の性質より、方向付けなしの経路選択において有利な選び方が大方決まり (g 部分)、あとは各空港に寄港するタイミングを調整するように方向が決まると解釈できる (f 部分)。一回の移動ごとに見ると、時差が小さい空港が選ばれやすい傾向にあることがわかる。

今回のシミュレーションでは空港に到着した時点で現地時間との同期が強制的に起こると仮定したが、より現実に近付けるため、蔵本モデルを用いて同期が徐々に起こるようにモデルを立てることが望ましい。また、西向きと東向きで飛行条件の非対称性が存在することを加味して、時差ぼけ関数が東西向きで非対称になるように定義した際に方向付けに及ぼす影響を見るべきである。加えて、フライト自体による疲労度もモデルに組み込み、滞在時間も最適化により決めるべきである。

## 参考文献

- [1] <http://flyteam.jp/>
- [2] D. L. Applegate, R. E. Bixby, V. Chvatal and W. J. Cook. *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*, Princeton University Press, 2007.