

フラクショナル・エアー，空のバトルはMIPの戦い

伊倉 義郎

1. はじめに

読者の皆さんはフラクショナル・ジェット・サービスというビジネスをご存じでしょうか。日本ではあまり馴染みのない話かもしれないが、最近米国ではビジネスチャンネルなどで盛んに宣伝されているサービスである。これは一口で言うと、「空のタクシー」というもので、1機のジェット機を8~16名くらいの人たちが共同で所有するサービスを意味する。ジェット機といっても小型機で、大体15人から25人乗り程度の機材を対象とする(図1参照)。このサービスを利用すれば、いつでもどこでも、パイロット付きでジェット機を用意してくれて、どこへでも行ってくれるというわけである。

このサービスの利点としては、

- 利用できる空港が多い(5000カ所、通常の空港約500カ所も含む)
- 速い(手続き、待ち時間、運航速度)
- 柔軟性(予約、スケジュール、選択空港)
- サービスの質(機内サービス、食事)



図1 Citation Airの例

いくら よしろう
 (株)サイテック・ジャパン
 〒113-0033 文京区本郷2-19-9

● 安全性とプライバシー

等があげられる。このサービスを利用する顧客層としては、やはり裕福な個人客が多く、著名人、プロ・スポーツ選手、会社経営者などである。ジャック・ニコラスやタイガー・ウッズが試合に出かけるのをイメージしていただければ分かりやすいだろう。今回のトピックは、このようなサービスを提供する事業会社にとって、整数計画問題をいかに早く解くかが死活問題であることを紹介したい。

2. フラクショナル・エアー業界

フラクショナル・エアーの値段設定はかなり複雑である。例えば、年間10万ドルの会員料金を支払うと50時間程度の飛行時間が1時間5千ドルのレートで使える(16分の1オーナー)。繁忙期は年末年始や休日(クリスマスや感謝祭)で、この時期には利用も若干制限される。それ以外では予約リードタイムは8時間ほどである。さらに期日によっては最少4時間でも保障されるケースもある。飛行範囲は大体北米を中心としているが、カリブ海とか南米も追加料金で可能となる。前払い時間以上に利用すれば追加料金が発生するが、利用時間が未満でも会員料金の返金はない。

現在、フラクショナル・エアー業界の年間売上は4,000億円程度で、会員数12万人程度といわれている。このようなサービスを始めたのは1986年のNetJetsであるが、その後1990年代から2000年代にかけて急速に拡大した。航空機メーカーや商業航空会社からの参入も多く、現在ではFlightOptions, FlexJets, Citation, Avantair等も知られている。

3. エデルマン賞への参加企業

近年エデルマン賞コンペに参加したフラクショナル・エアーは、2008年のFlexJet(Bombardier)と2010年のCitation Airである。Bombardierは2008年のfinalistに選ばれたが、Citation Airは残念ながら

finalistにはならなかった。しかしビジネス的にもOR的にも、甲乙つけがたいものであった。

Bombardierはもともと機材メーカーであるが、1995年にFlexJetsの名前でサービスを始めた。翌年機材数が25を超えたあたりで、スケジュール作成を手作業で行う弊害を感じ、すぐに整数計画モデルを使用し始めている。1999年には機材数が80機を超え、初期最適化モデルの限界を感じた。特に制約式の内容やクルーの数に制限がありすぎて、得られる解が使えないという問題が出始めていた。いろいろ試行錯誤の末、2000年からはカナダのモントリオール周辺の4大学で運営されている研究機関GERADと、同じくカナダのコンサルティング会社AD OPTの協力を得て、新しいアルゴリズムの開発に着手した。

一方のCitation Airであるが、業界参入は2003年とやや出遅れた。親会社はCessnaという昔から小型プロペラ機を製造するメーカーで、最近では主に中小型ジェット機を開発販売している。ちなみに航空機材メーカーがフラクショナル・エアーを子会社とする事情は、自動車メーカーがレンタカーを行うのに似ているといえるだろう。現在Citation Airは、3タイプで約80の機材を使用し、年間200億円程度の売り上げがあるといわれている。この会社でも当初はやはり手作業でスケジュールの作成を行っていたが、すぐにその限界に行き当たってしまった。2005年からジョージア工科大学のEllis Johnson教授らを中心としたグループの協力を得て、整数計画法を用いたシステムづくりに取り組み始めた。余談であるが、Citation Airは当初はORについて全く知識がなかったが、偶然会社の傍にIBMの研究所があった故にその後の展開が



図2 Citation Airの内部

始まったそうである。

4. 解かれるべきスケジューリング問題

さて、このようなフラクショナル・エアーでのスケジューリング問題とはどのようなものであろうか。簡単にいえば、数日間の顧客注文（フライト）を満足するべく、どの機体がどのフライトをどういう順序で担当し、誰がどの機体を操縦するかを決めるという割当問題である。この問題はフラクショナル・エアーに限らず、どの航空会社にでもある問題である。ただ、通常の航空会社（JAL、ANA等）との大きな違いは、あらかじめ決められた路線とかダイヤがないという点である。つまり、リードタイムが短く（せいぜい数時間以内）、リアルタイムでの顧客の要求を満足すべく、決定してある当面の機材スケジュールを固定し、数日間のみ運航スケジュールを決めるということである。具体的には、機材100機、クルー200~300人、顧客注文数100~200程度である。スケジューリングを行うタイミングは、リアルタイムで順次ということなので、まとまって翌月のスケジュールを決めるという話ではない。現在進行中のスケジュールを加味しながら、予約の入っている顧客注文をいかに最少コストで満足させるかという問題になる。

参考[3]の簡単な紹介ビデオによれば、5人の顧客の注文に対して機材が26機ある場合、既に1,400万個の実行可能解があるそうである。経営側としては、その中から最小コストの解を選びたい。しかし、時間は限られているし制約は複雑で、そう簡単ではない。

フラクショナル・エアーでも制約条件は通常の航空会社とほぼ同じである。例えば、決められた連続運転時間後の機材のメンテナンス、クルーの最大稼働時間や休憩、仮眠時間、待ち時間などに関する制約等である。また問題をさらに複雑にする要素として、チャーター機の存在がある。これはどうしても自前の機材が不足している場合に、他社からチャーター機として利用できる応援部隊がいるという点である。もちろんそのようなチャーター機は、コストが割高であるし、顧客に対するイメージも良くない。部分的とはいえ高額を出して所有している顧客は当然その機材を期待しているが、やむを得ない場合はチャーター機となる。

現在航空業界は、グローバルな場で激しい戦いを繰り広げている。フラクショナル・エアー業界も事情はそう変わらない。より柔軟な値段とサービス内容を、より競合に先駆けて顧客に提供したいという状況は全

く同じといってよい。ただし、そのやり方によっては収益に大きな違いが出る。やはり少しでもコストを下げ、効率よく資源を使い、利益の最大化を図りたい。となると、日常業務の最適化が勝負の分け目になってくるわけである。

5. 解法は列生成法

では各社ではどのように毎日のスケジューリング問題を解決しているのでしょうか。まず両社ともに機材とクルー割当問題の定式化は、集合分割問題に付帯制約がある大型整数計画問題としている。よく知られたクルー・スケジューリング問題のように、与えられたフライトと機材の割当の部分は集合分割問題となる。ここで各列はある機材が担当可能な一連のフライトとなり、それに0-1の変数が対応している。例としては、現在ニューヨークにいる機材が4時間後にサンフランシスコに飛び、6時間おいてカンザスシティーに向かい、そこでメンテ・サービスを受けたのちにダラスに飛んで待機する、というようなスケジュールに対応する。いったんフライトの組合せが決まればそれに対する運航費用も計算できよう。このような可能なフライトの組合せを機材ごとに多数生成しておいて、その中で一番総コストが小さい組合せを選んですべてのフライトをカバーすれば、数日間の受注はこなせることとなる（図3参照）。

機材割り当てには種々の制約式が絡んでくる。例えば、機材の最大稼働時間や最少コネクション時間、初期設定、機材メンテナンス場所やクルー制約などがある。機材ごとの可能フライト組合せは限りなく生成することはできるが、付帯の制約式もあり、すべてを羅列するのはあまり得策ではない。

Bombardier（したがってGERAD）の解法アプローチは、Dantzig-Wolf型の分解原理に基づいたカラム生成法である。まずDantzig-Wolfでは、集合分割問題がマスター問題でそれ以外の制約をサブ問題とし

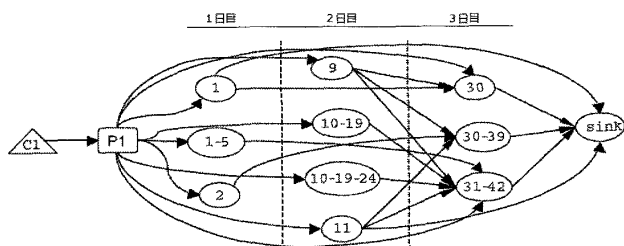


図3 1機材の可能フライト・スケジュール

ている。特に部分問題は機材別に独立している点を利用して、ブランチアンドバウンドによる整数計画法で効率のよい列生成法を行っている。GERADは、昔から輸送関係の最適化問題にこのような列生成法による解法を適用してきたが、そのノウハウがBombardierのスケジューリング問題でも効果を発揮したようである。

機材の割当問題が解けてもまだ解法としては半分で、次にクルーの割当問題が残っている。このクルー割当は会社とパイロットの契約関係が色濃く出るという特徴を持っている。通常の米国系航空会社の慣習では、ビットライン法というやり方で、会社の作った機材スケジュールを見てパイロットが年功序列順にスケジュールを選べる仕組みを取っている。一方、フラクショナル・エアーでは時間的余裕もないし、物理的に選べるスケジュールも限られている。そこで行われているのは、有給日や月全体の稼働パターンをクルーが月初めにビットで選択し、その範囲内で日々の割当をシステムに基づいて決めるというやり方である。

このクルー割当問題でも、Bombardierは列生成法による最適化手法を使っている。この場合最適化されるのは単にコストだけではなく、クルーの嗜好（ペアリング、連続稼働日、自宅ベースとの距離）をできるだけ最適化させるようにしている。クルー割り当ても含めて、Bombardierでは30分以内ですべてを解く仕組みを開発している（文献[1]）。

一方のCitation Airの解法アプローチ（文献[2]）も、基本的には同じような集合分割プラス付帯制約式モデルを列生成で解くやり方である。ただし、列生成法には独自の技術を開発し、大幅な解法時間の短縮を実現している。まずCitation Airでは、機材とクルーを組み合わせたものを変数と定義し、機材割り当てとクルー割当を同時に解いている。さらに、部分問題を単純な最短距離問題になるような定式化をして、効率の良い列生成を可能にした。このような工夫により、1日の問題を数秒程度、3日間の問題を2分程度で解くことに成功している。上記にもあるが、毎回の最適化結果を見て担当者が意思決定する時間は限られているので、最適計算をできるだけ早く終わらせることは、それだけ良質の答えを実行できるということになる。

6. 投資効果について

上記のようなシステムを開発した両社での投資効果であるが、まずBombardierは次のような数値を上げ

ている。

- 必要クルー数の 20% 削減
- 余分なチャーター費用の 5% 削減
- 営業飛行時間の 10% 増

これらを含めて、年間約 \$27 million のコスト削減効果があったと報告している。

一方の Citation Air の場合でも、

- 空移動時間の 4% 削減
- 余分なチャーター費用の 5% 削減
- 営業飛行時間の 2~8% 増加

と報告していて、コスト削減額としては年間約 \$15 million としている。このようなコスト削減効果は徐々に実現するというよりは、システムを立ち上げるとすぐに反映されるというのも共通していえることである。

さらに共通していえることは、単にコスト削減だけではなく、クルーの稼働率や勤務環境が大幅に改善されたことも上げている。便乗移動時間 (deadhead) の削減や待ち時間の削減は、数日間連続して勤務するクルーにとっては重要なことであろう。運航スケジュールを地上で作成管理する担当者の稼働効率も大幅に (20~50%) 改善されたことも報告されている。

さらに最適化システムは、運航コストの削減だけではなく、戦略的なネットワーク分析、機材投入計画、クルー増員計画、マーケティング案の分析、などにも適用されている。Citation Air では、他社に先駆けて時間枠付きのメンバーシップ・プログラムを最近始めたが、これは長時間のシミュレーション分析による結果であるとしている。

最後に私が昨年直接インタビューした Citation Air のシニア・バイス・プレジデントは、「今後 OR の適用効果は無尽蔵にある可能性がある」と強調してい



図4 スケジューリングシステムのイメージ

たのが印象的であった。既に次の戦略案の作成が始まっていたようだが、その内容は明かしてくれなかった。両社にとって整数計画法がキーであるのは明らかで、モンリオール連合対ジョージア工科大の戦いでもある。それにもまして、競合に先駆けていろいろな新しいサービスや戦略を緻密に考えるのは、正に科学的経営の本来の姿ではないであろうか。

参考文献

- [1] Hicks, R. et al., "Bombardier Flexjet Significantly Improves Its Fractional Aircraft Ownership Operations," *Interfaces*, Vol. 35, No. 1 (2005), January-February, pp. 49-60.
- [2] Yao, Y. et al., "Strategic Planning in Fractional Aircraft Ownership Programs," *European Journal of Operational Research*, Vol. 189 (2008), pp. 526-539.
- [3] www.youtube.com, "Optimization in action" by Roger Zhan.