

数理最適化手法最新動向—管理会計に向けて—

宮崎 知明*

The Current Status of Mathematical Programming

— For Administrative Accounting —

Tomoaki MIYAZAKI

キーワード: 数理計画法, 可視化モデリング, 管理会計, プロダクトミックス, 原価配賦計算

1. はじめに

IT 技術の進歩は目覚しく、ハードウェア性能 (CPU, メモリ, ネットワーク, 記憶媒体), ソフトウェア (最適化理論, GUI など) の進化により, 20 年前と比べて計算能力, 表現能力が飛躍的に増大している。数理最適化技術の代表である線形計画法 (LP) では, 20 年前に比べ 100 万倍以上の性能を実現した事例も発表されている。このため, 昔であったら実現できなかったような最適化手法が現実のものとなり, 複雑かつ大規模な問題をも解くことが可能になってきた。今後, ますます実践的な最適化が実現可能になっていくと言える。本稿では, 数理最適化手法の最新動向及び管理会計への適用に関して述べる。

2. 数理最適化理論動向

過去 20 年間の進歩の一つに, 数理計画法, ニューロ, 遺伝子アルゴリズムの高速化と複数の解法を組み合わせる方法が実用化されつつある。この結果として, 時間制約及び順序関係の制約があるスケジューリング問題が実用的に解けるようになって

てきた。特に, 制約論理プログラミング手法の実用化とメタヒューリスティクスを含む各種手法を組み合わせるハイブリッド型の解法が実現できたことが大きいと考える。図 1 に最適化手法と制約条件の関係を示す。

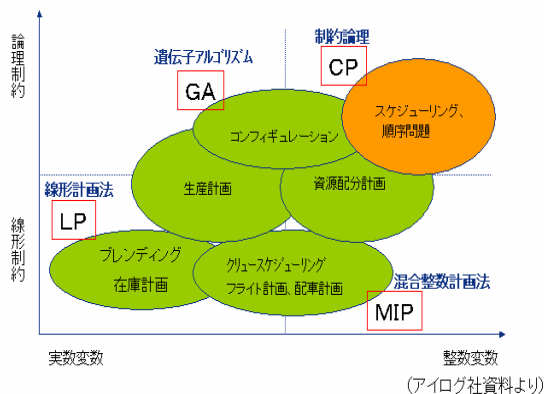


図 1 最適化手法と制約条件の関係

最近, 欧米における最適化問題への取組みで大きく変わってきた点が二つある。一つは, 手法中心アプローチからデータ中心の問題解決型アプローチに変わってきた点である。問題解決型のアプローチでは, まず実データを解析し, 問題点を明確にして, ボトルネックを見つけ, 解決すべき答えを直接求める解法を設計する点にある。

二つ目は, 不確実性, 不確定性を定量的に評価しようとするアプローチである。これらのアプローチ

* 株式会社富士通総研

を実現するにあたり、最近、

逐次線形計画法：SLP

(Successive Linear Programming)

確率計画法：SP

(Stochastic Programming)

包括分析法：DEA

(Data Envelopment Analysis)

が、再度、見直されつつある。

計算性能の進化により、戦略レベルでの最適化計画だけでなく、オペレーショナルなレベルでの実行計画、実行スケジューリングへの適用が進みはじめている。グローバルでの実用化の例を示す。

- 毎日 1 万台以上の車両生産シーケンスの実現
- 毎週数百万トンの鉄鋼生産スケジューリング
- 毎日 500 万個以上の荷物の配送
- 年間 2700 万個のコンテナのヤード処理

また、ハイブリッド型解法の一例として、計画とスケジューリングを一体化する動きが始まっており、時間制約、順序制約を満足する実行可能な最適化計画の立案の実用化が広まりつつある。特に、

- ・ 混合数理論理計画法 (MIP)
- ・ 制約論理プログラミング (CP)

の手法をハイブリッドで組み合わせて使うことにより、スケジューリングを考慮した実用規模の最適化計画が実現しつつある。最新の研究動向である MIP と CP を組み合わせたハイブリッド解法のイメージを図 2 に示す。

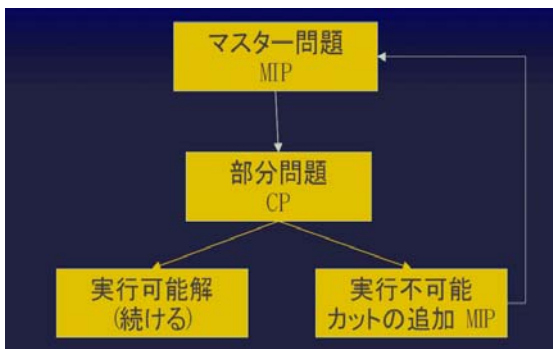


図 2 ハイブリッド解法のイメージ(例)

このアプローチの特徴は、最適化を MIP 問題で、実行可能性を CP 問題で実現しようとするところにある。具体的な例としては、各工場での実行可能な

日程計画と月次の全社生産計画における最適工場配分とを一度に実現することが可能となる。

3. 可視化モデリング

コンピュータの活用技術が大幅に進化したことにより、従来では簡単には実現できなかった機能が実現できるようになった。その例として、可視化モデリングを以下に紹介する。

物流ネットワーク、製造プロセスなど、フローで表現できる事象はかず多く存在する。製造プロセスをボックスと線で表現し、ボックスが事象を示し、線が物の流れと遷移を示すよう、コンピュータ上で関係づけることにより、可視化モデリングが実現できる。図 3 に Excel のアドオン機能として実現したツールを示す。

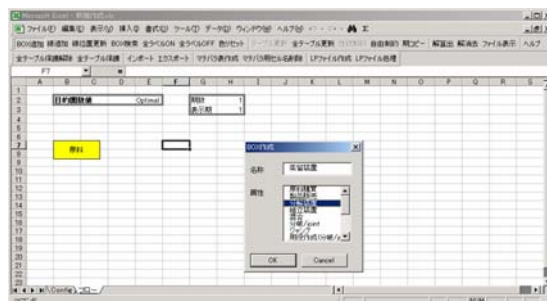


図 3 可視化モデリングツールのイメージ

可視化モデリング機能の概要を示す。

- 1) Excel シート上でボックスを定義し、線で結合することでプロセスフローを表現し、モデルの構造を定義する
- 2) ボックス毎に自動的に生成されるシートに数値データを定義する (原料使用可能量、収率データ、販売希望量など)
- 3) (自動的) プロセスフロー図と数値データを結びつけてマテリアルバランス式を生成し、定式化する (.lp ファイルが作成される)
- 4) (自動的) 定式化されたモデルの最適化を行う (呼び出された外部の最適化プログラムにより、最適解ファイルが作成される)
- 5) (自動的) 最適化結果をプロセスフロー図とボックスに対応したシートに反映させる

PC 上の Excel でも実用規模の LP 問題を可視的に作成することが可能である。図 4 に石油精製の現

実規模の例を示す。この例では、1000式を超えるLPモデルになっている。

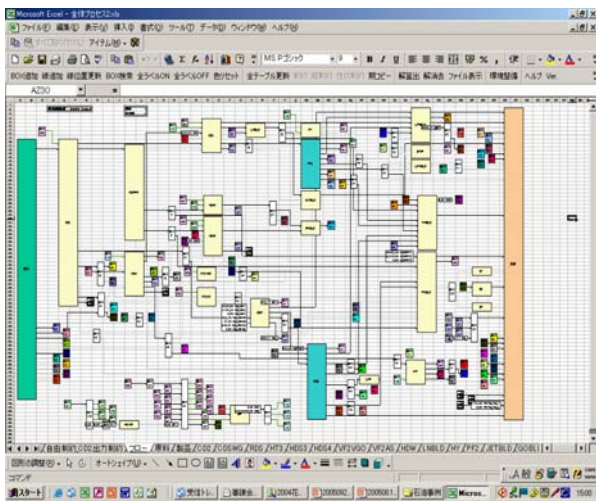


図4 可視化モデリングの例

Excel上の最適化計算結果を反映させたプロセスフローシートと各ボックスのデータ情報シートを使うことにより、様々なメリットを得ることができる。

可視化モデリングのメリットは以下：

- モデルのオープン性（誰でも理解できる）
- モデリング時間の短縮（数ヶ月かかっていたのが数日）
- モデルのチューニングの容易性（実行不可能解の分析など）
- モデル変更、改良の容易性
- 試行錯誤の容易性
- 協調的な計画業務の実現（皆で揃って議論可能）

4. 最適解情報の新たな活用

最適化結果を表すプロセスフローは物の流れを表すため、原料から製品をつくるまでの過程を示しており、製造方法を表現していると言える。

前節で紹介した可視化モデリングツールのプロセスフローシートとマテリアルバランス解の活用により、装置系産業における生産計画においても、製造方法と一体化した製品別予定製造原価計算を実現できる。

図5にマテリアルバランスのとれたプロセスフロー

の例を示す。どの原料をどれだけ、どういう装置にかけて、製品がいくら出来るかが表現されていると言え、組立産業で一般的な部品表（BOM）に相当する情報を得ることが可能となる。

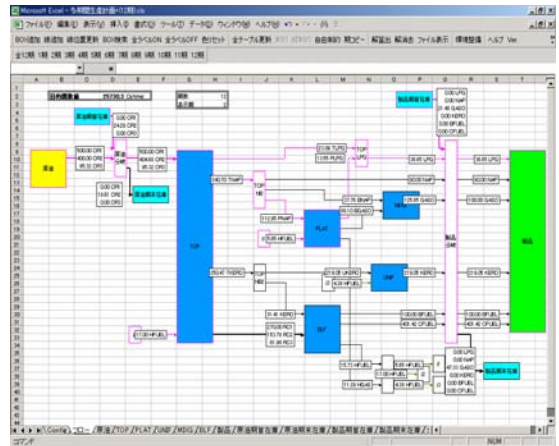


図5 マテリアルバランスの取れたプロセスフローの例

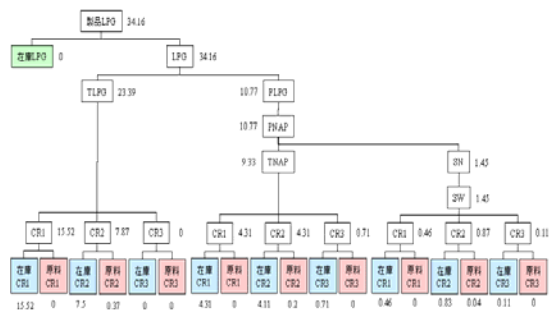


図6 マテリアルバランス表のイメージ

このプロセスフローとマテリアルバランス式の数値及び結果から、図6に示すマテリアルバランス表を作ることが可能となる。マテリアルバランス表からは、製品と原料の関係、製品と装置の関係等を定義づけることができ、製品毎の原料使用量、製品毎の装置稼動量を算出できる。原料コスト、運転コストを掛けることにより、製品別原料原価、製品別装置稼動原価を算出できる。

LP解が示す限界損益の世界と製品毎の予定原価の世界を表現した損益シミュレーションのイメージを図7に示す。

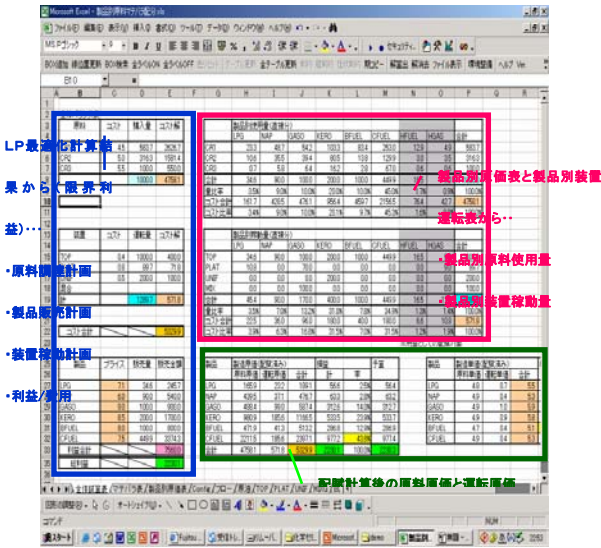


図7 損益シミュレーションのイメージ

装置系産業の観点では、製品、中間製品、原料の現在価値をどう把握するかが重要となるが、本ツールでは以下の問題を解決することが可能となった。

- 非常に難しく複雑な製品別の原価計算
 - 連産品、副次製品の発生，原料配分と装置運転計画が連動
 - 製造予算計画立案に2ヶ月程度必要だった（化学，石油化学の例）
- 即時評価が重要な現在価値の推定
 - 製品のバーターだけでなく，原料，中間製品の売買が現実化
 - 経営チャンスの観点から，製品，中間製品の現在価値（製造原価）が必要

5. 管理会計

一般に管理会計が示す領域は大きく二つある。意思決定会計と業績管理会計である。

- ・ 意思決定会計
 - 差額限界収益分析
 - 設備投資の意思決定
 - 最適プロダクトミックスの決定
- ・ 業績管理会計
 - 予算管理
 - 事業部制会計
 - BCS

ここでは、数理最適化手法が役立つ意思決定会計に閉じて話を進めることにする。意思決定会計の基本的な考え方は、列挙した代替案間で発生額の異なる将来のコストと収益を差額原価・差額収益として計算し比較することであり、差額原価を将来原価ととらえることにより、LPを活用できる。

以下、プロダクトミックスと原価配賦計算でのLPの活用について述べる。

5.1 プロダクトミックス

最適プロダクトミックスとは、貢献利益の総額が最大になるプロダクトミックス（product mix：製品構成及び量）のことをいう。

貢献利益が最大となるようにするためには、限られた経営資源を最大限に活用し、どの原料，どの装置を使い，どの製品をどれだけ生産するかを決めることになり，LPの問題として定式化できる。LPの定式化は，目的関数を貢献利益（限界利益）とし，原料等を制約とした直接原価計算方式の損益計算である。

損益シミュレーションを行うためには，製品ごとの製造原価を求めることが基本となる（※貢献利益：限界利益から固定費を除いたもの）。

最適プロダクトミックス問題の例を図8に示す。

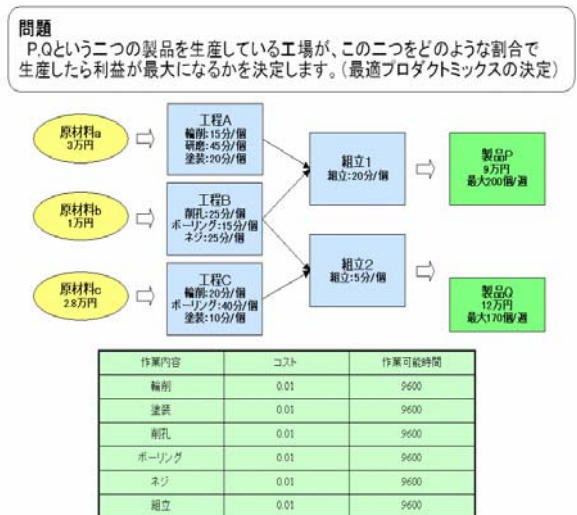


図8 最適プロダクトミックス問題

この問題を前章の可視化ツールでモデリングし、最適化した結果を図9に示す。この例では、ボーリングの作業時間がボトルネックであることがわかる。

図11に戦略会計表（STRAC表）と呼ばれる形式での最適化結果を示す。

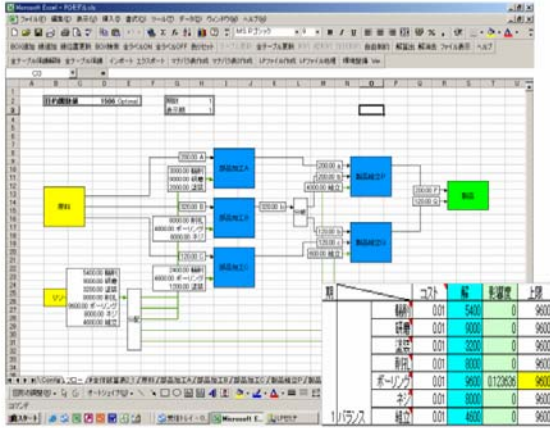


図9 プロダクトミックス問題の最適解

プロダクトミックス問題の損益を評価するための損益シミュレーションシートを図10に示す。図10では、LP解としての限界利益とそれを達成する原料、用益の必要量、製品の製造量がわかるだけでなく、最適化結果からの予定原価情報をも知ることができる。

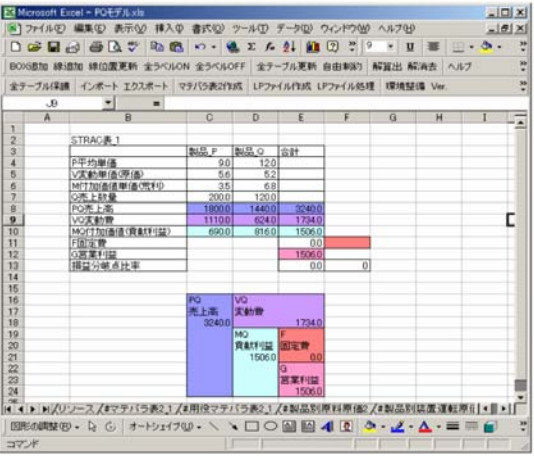


図11 プロダクトミックス問題の戦略会計表

このように、LP解を解析し、限界利益だけでなく、製品毎の予定原価（原料コスト、運転コスト、用役コスト等）を明確にすることで、管理会計を具体的に実現することが可能である。

5.2 原価配賦計算

次に原価配賦計算へのLPの適用について述べる。原価配賦計算の基本は補助部門間の用役の授受（相互依存性の解決）である。補助部門間の用役の授受をどう処理するかについて、通常に行われる方法として、次の3つのポリシーがある。

- (1) すべて無視 直接配賦法
- (2) 一部考慮・一部無視 階梯式配賦法、
- (3) すべて考慮 連続配賦法、
連立方程式法

LPを活用することで、(3)の連立方程式法を実現することが可能となる。

簡単な原価配賦計算モデル例に活用方法を示す。

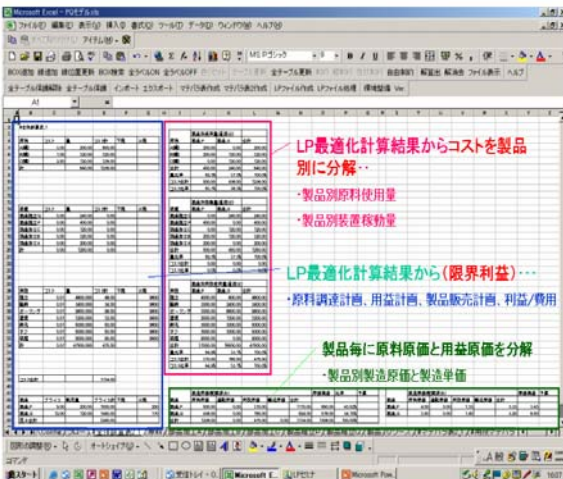


図10 プロダクトミックスの最適解構造

切削部門と組立部門の2つの製造部門、動力部門と材料倉庫部門の2つの補助部門があるとする。各部門の製造間接費予算第一次集計額は以下の通りとする。

切削部	6,000,000
組立部	4,000,000
動力部 (補助部門)	3,600,000
材料倉庫部 (補助部門)	1,600,000
計	15,200,000

また、補助部門の用役の提供割合は以下のとおり。

	切削部	組立部	動力部	材料倉庫部
動力部費	50%	40%	-	10%
材料倉庫部費	60%	20%	20%	-

補助部門の費用をどう製造部門に配賦すべきかを考える問題となる。連立方程式モデルを図12に示す。

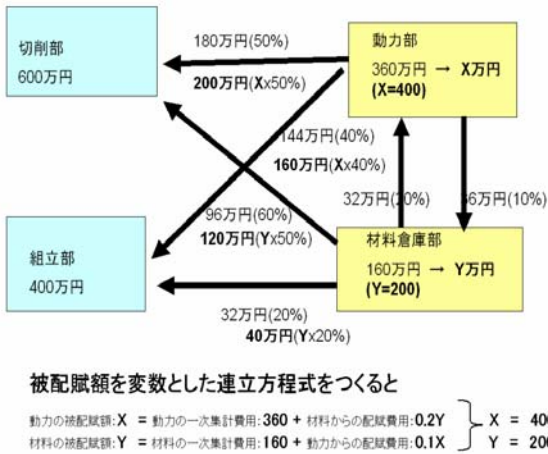


図12 連立方程式モデル

連立方程式法のメリットを以下に示す。

- ・解を一意に求めることが可能
 - 収束計算ではないため、直接、方程式を解いて解を求めることができる
- ・システム開発が簡単 (短期間, 小工数)
 - 連立方程式をつくるだけでよい
 - 収束判定等の数値制御が不要 (誤差判定等)
- ・システムの保守及び拡張が容易
 - 連立方程式モデルの変更, 修正だけでよい

原価配賦計算の応用として、以下に示すように売上原価を算出したり、製造工程で発生する自家燃料、用役等を考慮することが可能となる。

・製造原価と売上原価の同時算出

原料費、横持運賃費、在庫評価額等を使用量をもとに、受入単価 (振替価格) を求め、一次部門費用全体を製造原価と売上原価に分ける、売上原価を求める。

・配賦したい用役

製造工程で発生する用役 (蒸気等) や製品の自社使用 (自家燃料等)

石油化学、化学業界での実際のサイズは数千から数万にも達するが、現在では、数分で解くことが可能になっている。

6. おわりに

30年前には殆ど実現出来なかった最適化の要求に対して、実践的なアプローチを実現できる時代になったと考える。「実学に役立つ OR」を実現し、最適化を駆使して日本の産業界の再生の一助となれば幸いである。

参考文献

[1] 宮崎知明, 池ノ上晋, 大西真人: “SCM 最新動向—最適化手法と損益シミュレーション” 第1回横幹連合コンファレンス予稿集, 1/4 (2006)

[2] 尾畑裕: “TOC と LP—管理会計の観点から—”, 経営技術研究会発表資料, 一橋大学, 2006

[3] FRI Solver ハンドブック, 富士通総研, 2006

みやざきともあき
宮崎知明

1974年富士通入社, 2001年までOR部門 (数理計画法, シミュレーション, スケジューリング等) の研究開発, 製品化及びユーザ適用に従事。2002年より富士通総研に移動。以後数理最適化の適用に従事。現在, 主席研究員。