

## 新聞の販売部数最大化問題における広告費の影響度

帝塚山大学経営情報学部

伊佐田 百合子(Yuriko Isada)  
Faculty of Business Administration

Tezukayama University

関西学院大学総合政策学部

井垣 伸子(Nobuko Igaki)

School of Policy Studies

(株) 電通

Kwansei Gakin University

山川 茂孝(Shigetaka Yamakawa)

Dentsu Inc.

関西大学総合情報学部

仲川 勇二(Yuji Nakagawa)

Faculty of Informatics

Kansai University

## 1. はじめに

近代的メディアプランニングは、視聴者・閲読者への露出分布(exposure distribution)推定法の発展とともに高度化し、近年のコンピュータの目覚ましい進歩を背景としたオプティマイザーの導入により広く認知されるに至った。Metheringham [1]により提唱された負の二項分布による露出分布の推定方法はその使い勝手のよさから 80 年代には米国のほとんどの広告代理店で利用されるまで広がった[2]。露出分布の推定方法は、その後も改良がなされ、Dirichlet 分布を用いたアプローチ[3]やメディア別に推定された露出分布を、正準展開を用いて合成するアプローチ[4]などが考案されている。

90 年代後半は、広告主の強い要請もあり、主要広告代理店が次々にオプティマイザーを導入した時代であった[5]。通常オプティマイザーとは、所与の予算に対し、できるだけ多くのメッセージを露出するための媒体組合せを、数理計画法のテクニックを用いて求める意思決定システムをさす。またオプティマイザーの一種として、与えられた広告枠に、複数ブランドの広告素材を効率よく割り付けるアロケーションシステムもある[6, 7]。

各社が利用しているオプティマイザーは現在も改良が進んではいるものの、未だいくつかの問題点を有している。第一の問題は、オプティマイザーのテレビ偏重傾向であり、それに伴うモデルの定式化に対するエリアの考え方の欠如である。例えば米国では全国ネットワークのみを、全国単一の指標で定式化しているオプティマイザーがほとんどである[8]。しかしながら、雑誌・新聞などの印刷媒体の場合、エリアカバレッジの問題が露出分布の問題と同様に重要であり、テレビとは考え方が異なる部分が多いものの、その点については見過ごされているのが現状である。

第二の問題は、既存のオプティマイザーは厳密な最適解を保障しないという点である。既存のオプティマイザーはテレビ広告を想定し、そのため複雑な露出分布を最適化する必要がある。現在利用可能な最適化ロジックでは厳密解を得ることが難しく、オプティマイザーのほとんどはグリーディーアルゴリズムか、遺伝的アルゴリズムを採用するにとどまっている。

第三の問題は、オプティマイザーを実行するためには、初期設定、すなわち、コスト、評価関数値や制約条件の設定とその更新に膨大な手間がかかる、という点である。De Maeyer and Kohli [8]は、実行速度の速いヒューリスティクスを採用し、プランナーがアウトプットをみてデータ・条件

を修正し、システムを再実行しながら、より現実的なプランを作るという、インタラクティブなシステム及び方法論を提唱している。ただし、価格交渉を繰り返す日本の場合には、どこの媒体社のどの物件について交渉すべきか、明確に示唆を与えてくれる仕組みが必要となってくる。

本研究では、新聞に関する最適化問題を取り扱う。新聞はエリアや、朝・夕刊といった電波媒体とは異なる複雑な構造を有している反面、新聞社間の重なりが少ないという扱いやすい性質もある。ここでは新聞最適化問題を、部数最大化問題として非線形のナップザック問題の一種として捉え、仲川[9]の開発したモジュラー法により厳密解を求めることを試みる。更に、広告予算に関する感度分析を行い、解の挙動を観察することにより、価格交渉を行うべき新聞社・物件の絞込みを試みる。

2. 新聞広告モデル

(1) 対象新聞社と対象広告面

今回対象としたのは、A新聞、B新聞、C新聞、D新聞の4社である。ある一定の予算内で、モノクロ1段25cmの広告をある日の朝刊に載せる場合を考える。ちなみに、1面の大きさは、縦15段・横25cmである。新聞広告の料金は、新聞社によっても異なるが、掲載する紙面によっても変化するため、ここでは、すべて社会面に載せることを想定し、その場合の広告料金を使用した。目的関数としては、単純に、広告の載る新聞の販売部数合計を採用した。

(2) 問題の定式化

例えば、ある日のA新聞朝刊に載せる場合、全国版に載せるのか、あるいは、4つの本社版、すなわち、東京本社(北海道を含む)版、大阪本社版、名古屋本社版、西部本社版のなかから一つ又は複数に載せるのかを選択しなければならない。ここで、4つの本社版すべてに載せるのと、全国版に載せるのは、同じことである。表1にA新聞に関する広告を出稿する販売エリアの選択肢を示す。

表1 A新聞への広告出稿パターン (○:出稿)

案	変数Aの項目 販売エリア	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	東京	x	○	○	x	x	x	○	○	○	x	x	x	○	○	○	x
	大阪	x	○	x	○	x	x	○	x	x	○	○	x	○	○	x	○
	名古屋	x	○	x	x	○	x	x	○	x	○	x	○	○	x	○	○
	西部	x	○	x	x	x	○	x	x	○	x	○	○	x	○	○	○

B新聞(変数B)については、全国版の他に、東京(含北海道・北陸)、大阪、中部、西部の4区分、C新聞(変数C)についても、全国版の他に、東京(含北海道)、大阪、中部、西部の4区分であり、A新聞の場合と同様に、1から16までの項目案を定義する。D新聞(変数D)については、全国版の他に、東京、大阪の2区分であるので広告を出稿する販売エリアの選択肢は、表2に示したとおりとなる。

表2 D新聞への広告出稿パターン (○:出稿)

案	変数Dの項目 販売エリア	1	2	3	4
	東京	x	○	○	x
	大阪	x	○	x	○

これら4つの変数A,B,C,Dの各値に対して、それに対応する

販売数のデータ :  $H_1(A), H_2(B), H_3(C), H_4(D)$ ,

広告料金のデータ :  $R_1(A), R_2(B), R_3(C), R_4(D)$

が与えられている。広告予算を  $X$  とおくと、このモデルは次のような非線形離散型ナップザック問題に定式化される。

$$\text{MAX}\{H_1(A) + H_2(B) + H_3(C) + H_4(D)\}$$

Subject to

$$R_1(A) + R_2(B) + R_3(C) + R_4(D) \leq X$$

$$A, B, C = 1, 2, \dots, 16,$$

$$D = 1, 2, 3, 4$$

### 3. 解法アルゴリズムについて

今回のモデルのような 0/1 整数変数ではなく一般の整数変数を扱うナップザック問題は、厳密解法では通常現実的な時間内で解くことができないため、近似解法を使用することが多い。しかし、今回は、仲川[9]の開発したモジュラー法と呼ばれる非線形離散型ナップザック問題解法アルゴリズムを採用することにより、非常に高速に最適厳密解を求めることができた。

#### (1) モジュラー法

モジュラー法は、Marsten と Morin[10]が提案したハイブリッド DP/B&B と呼ばれる動的計画法に分枝限定法の限定操作を導入した方法を、実行可能性操作、優越操作、限界値操作の 3 つの深測操作を実施する変数の選択と、変数の統合方法の選択を可能にすることによって、多様な問題に対して強力に列挙範囲を限定できるように改良したものであり、単一制約、単一目的の非線形離散最適化問題を効率的に厳密に解くことができる。現在、モジュラー法を用いることによって 1000 変数、各変数に対する項目数が 20 の非線形ナップザック問題が実用的な時間で解き得ることが仲川と岩崎[11]により示されており、問題の規模が大きくなっても実用的な時間で解くことが可能である。

仲川は、モジュラー法を用いて代理制約法[12]と呼ばれる複数制約の問題を解く手法を提案し、例えば、3 制約 1000 変数で各変数に対する項目数が 20 の大規模な多次元ナップザック問題を厳密に解くことに成功している。また、伊佐田ら[13]はモジュラー法を多目的問題に応用した対話型的意思決定手法を提案し、3 目的 1000 変数で各変数に対する項目数が 10 の大規模な非線形多目的離散最適化問題を厳密に解き得ることを実験により示している。

#### (2) 広告モデルへの適用

モジュラー法を本広告モデルに適用することで、ある広告予算の下で広告掲載部数を最大化する解を厳密に求めることができる。広告掲載に対する広告予算の影響度を調べるためには、広告予算を変化させて繰り返し計算実験を行うことが必要であるので、以下に示した方法でモジュラー法に対する入出力データを生成するようにサブプログラムを開発し広告モデルを解く。

- ① 広告出稿可能な最も低い広告料金を最小予算、全新聞社の全国版に出稿した場合の広告料金を最大予算として設定する。
- ② 広告予算の刻み幅を設定する。
- ③ モジュラー法に対する入力ファイルを生成する。
- ④ モジュラー法を用いて広告モデルを解き、各広告予算における最適解をファイルに出力する。

## 4. 実行結果

テストデータは、2001年1-6月期の新聞の販売部数と新聞広告基本料金を使用した。テストは、CPU866MHz、メモリー512MBのDOS/Vコンピュータを用いて実行された。表3は、予算を100万円から1400万円まで100万円刻みで変化させた場合の最適解(厳密解)と計算時間を示したものである。例えば、予算800万円では、最適解(厳密解)は、A=3(A新聞東京)、B=2(B新聞全国版)、C=1(C新聞には載せない)D=4(D新聞大阪)であり、このときの掲載部数は、16,201,100部、実広告費は7,782,500円となる。

表3 広告予算変動に伴う最適解の変化と計算時間

予算	実広告費	掲載部数	最適解(厳密解)				計算時間(sec)
			A	B	C	D	
1000000	800000	1202100	1	1	1	4	<1
2000000	1932500	3256910	1	6	4	1	<1
3000000	2887500	6586160	1	1	3	1	<1
4000000	3912500	8010190	1	4	3	1	<1
5000000	4957500	10951100	1	6	2	1	<1
6000000	5982500	12661400	4	1	2	1	<1
7000000	6982500	14999000	3	1	2	1	<1
8000000	7782500	16201100	3	1	2	4	<1
9000000	8882500	18605100	2	1	2	1	<1
10000000	9907500	20029200	2	4	2	1	<1
11000000	10990000	21470500	2	12	2	2	<1
12000000	11757500	22719200	2	11	2	2	<1
13000000	12657500	23772100	2	2	2	4	<1
14000000	13232500	24589400	2	2	2	2	<1

## 5. 広告料金の感度分析

## (1) 広告費増加に伴う広告掲載部数の変化

図1をみると広告費の増加に伴い広告掲載部数がほぼ一次関数的に増えていることがわかる。

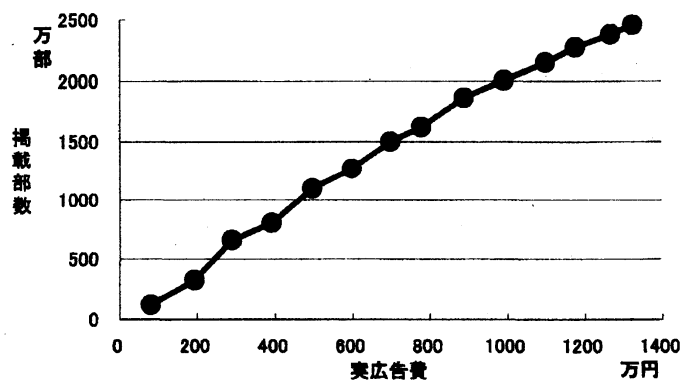


図1 広告費に対する掲載部数(予算100万円毎)

## (2) 広告費増加に伴う広告掲載部数の感度

図 2は、図 1において予算を 100 万円ずつ増加したときの実広告費と広告掲載部数をプロットしたものである。ここでは、予算 100 万円に対して強い周期性が現れている。更に細かく分析するために、予算増加を 20 万円毎にしたものが図 3である。これを見ると 20 万円の予算変化に対する掲載部数の感度の変化はかなりばらついており、160 万円から 280 万円毎に感度の高い箇所がみられる。

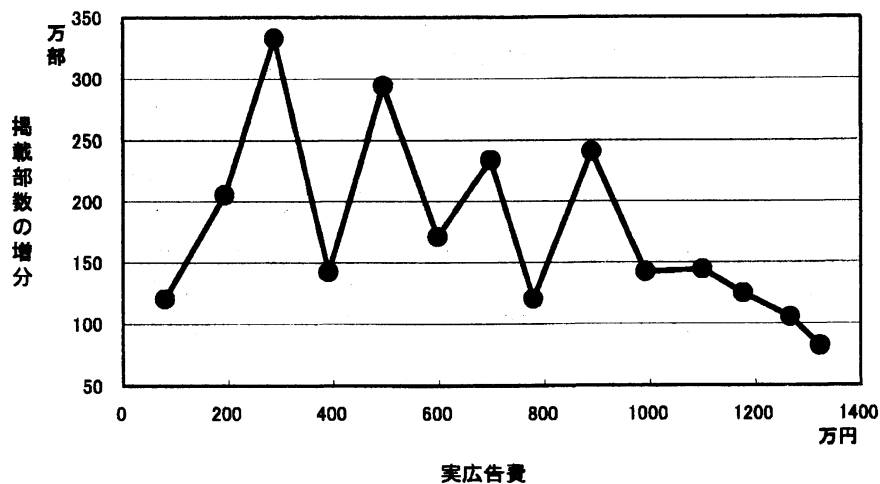


図 2 実広告費に対する掲載部数の増加 (予算 100 万円毎)

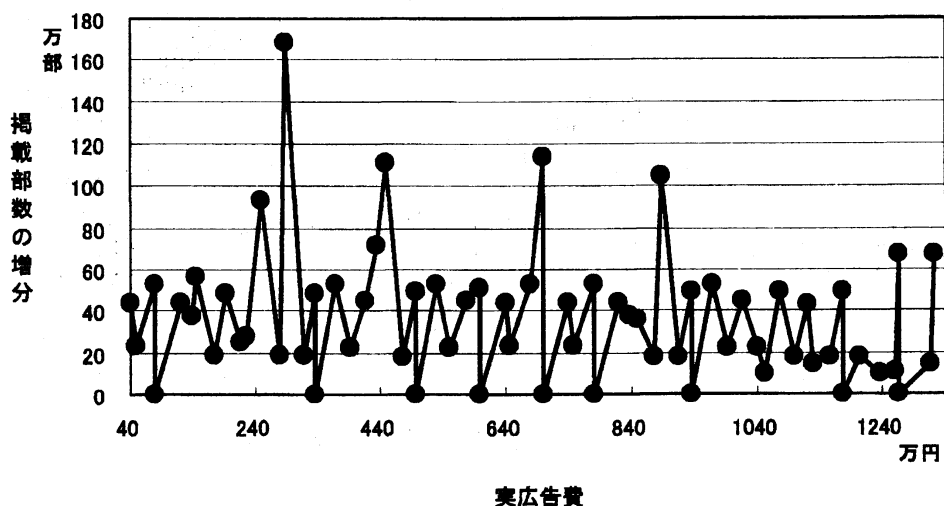


図 3 実広告費に対する掲載部数の増加 (予算 20 万円毎)

(3) 最適解における各新聞社シェア感度

例えば、A新聞に着目する。図4の予算260万円、280万円の箇所においては、A新聞にほぼ独占的に出稿する解が最適であることがわかる。一方、その隣の予算240万円のところでは、A新聞に出稿することは、最適解になっていない。そこで、例えば、A新聞260万円のときの最適解である東京本社の広告基本料金を21万円(8.4%)引き下げた場合を検討してみる。図5は、変更後の最適解を示している。ここでは、予算240万円の箇所で、A新聞に出稿することが最適解となる。なぜそうなるかという、21万円の値引きによって予算240万円の広告主が実質261万円の予算を行使した効果が得られるからである。このように図4より、どの予算レベルの広告主に対して値引き交渉すれば良いかがわかる。この値引き交渉により、広告主にとっても手持ちの予算で最大の掲載部数を確保できるので、A新聞は広告主に対して、視覚的・科学的効果を提示することが可能となる。

図6は、A新聞東京本社の広告基本料金を引き下げたことによる各予算でのA新聞のシェアの変化を示したものである。破線は、定価におけるA新聞のシェアの様子を示しており、実線は、値引き後のA新聞のシェアを表している。これをみると、この値引きにより、A新聞は、予算240万円の箇所だけでなく予算520万円、680万円箇所でも最適採用シェアをそれぞれ0%→42%、17%→31%と上げている。一方、予算860万円の箇所で、41%→27%とシェアを落としている。このように広告料金を変化させたときの影響を一目で把握することができる。これらは広告料金決定戦略において、基本的な情報を与える。

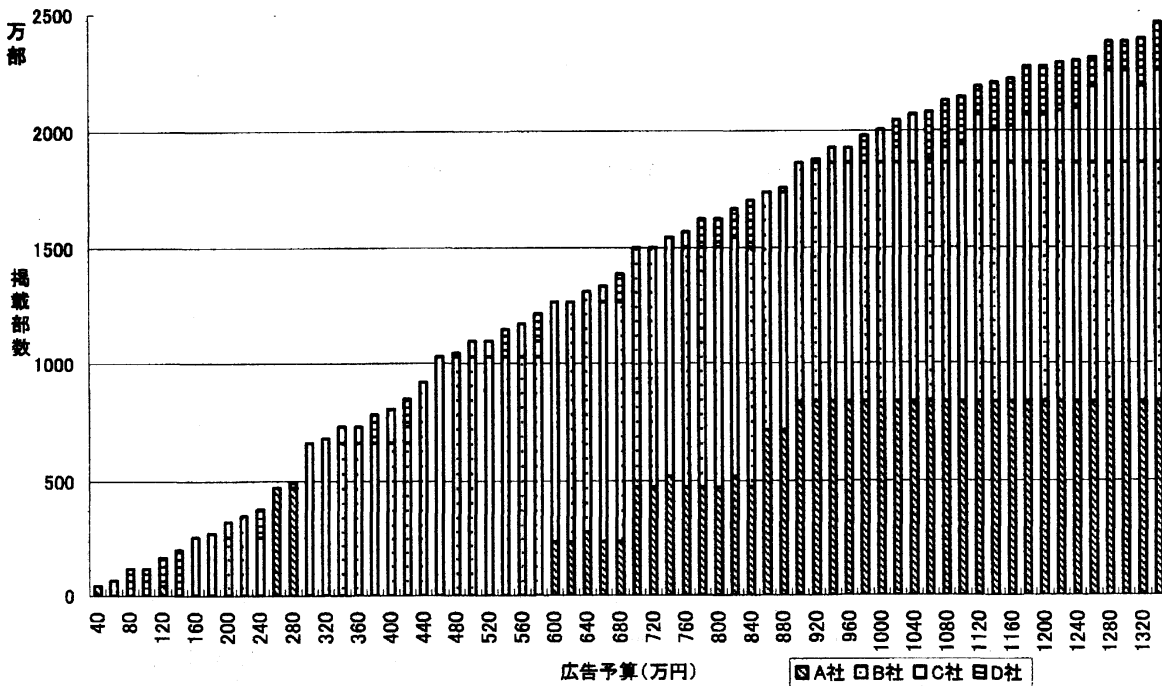


図4 予算に対する総販売部数の新聞社構成比の推移

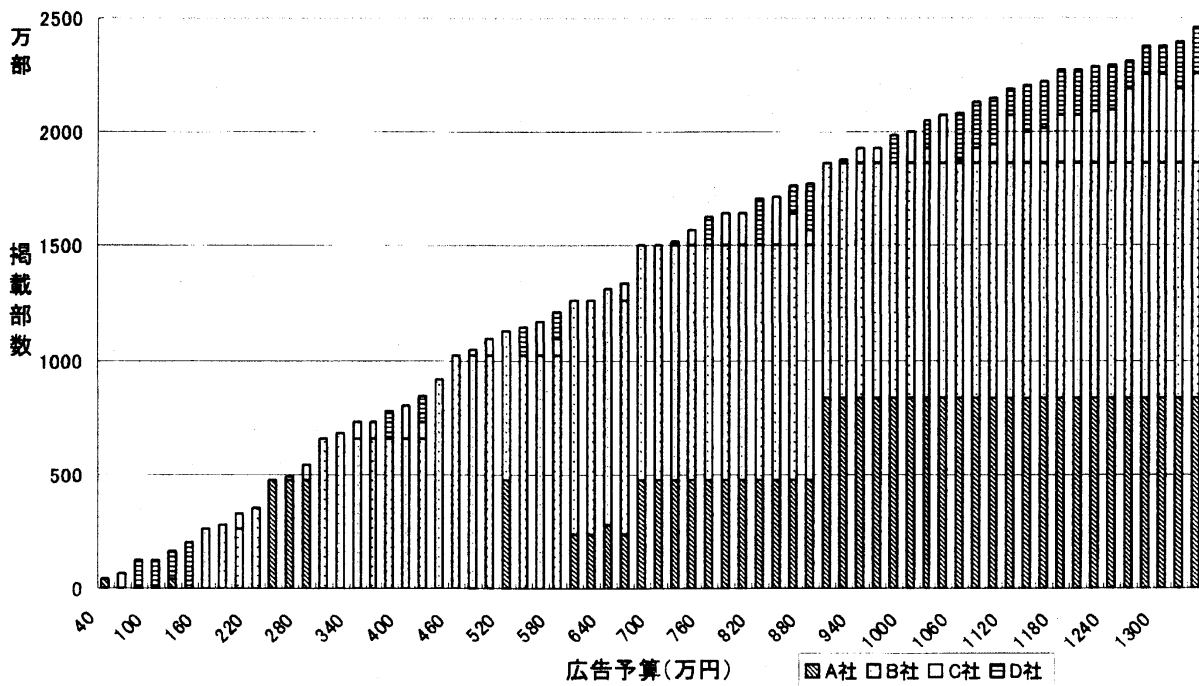


図 5 値引き後の予算に対する総販売部数の新聞社構成比の推移

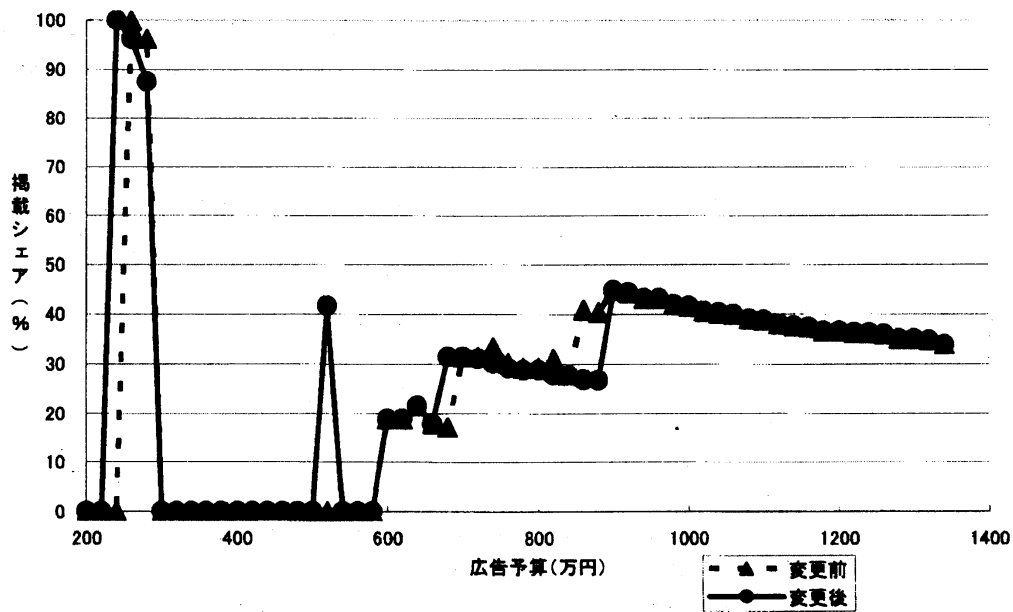


図 6 A新聞における値引きの効果

## 6. むすび

現在利用されているオブティマイザーのほとんどは貪欲法などの近似解法に頼っているが、本稿では、新聞媒体が世帯到達最大化の観点からは、非線形ながらも分離可能な目的関数を持つナップザック問題として定式化できることに注目し、仲川[9]のモジュラー法により高速に厳密解を求めることができることを示した。厳密解を高速に求められる環境では、予算に対する解の挙動が容易に把握でき、各媒体物件の単価の変化が予算シェアへどのように影響を与えるかも把握することができる。このような情報は、新聞社との価格設定・交渉においては有益な情報となる。

一方、現実の広告計画では、新聞の部数のみでなく、広告のサイズ、色、面なども考慮に入れる必要があり、これらを同時に最適化するためには、問題はさらに複雑化する。また、各出稿エリアのプライオリティーや制約条件なども存在する場合も現実には多くある。さらには、今回は一般紙の部数、すなわち世帯への到達を分析の対象としているが、個人レベルのターゲティングを行う場合には、宅配部数の多い一般紙だけでなく、スポーツ紙、経済・専門紙、夕刊紙なども視野に入れた広告計画が必要となり、新聞間の重複の問題が再び浮上する。これらの問題を解決するためには、アルゴリズムの高度化だけでなく、問題の特性を吟味した定式化自体にも工夫が必要であり、今後の研究課題である。

## 【参考文献】

- [1] Metheringham, R. A. (1964) "Measuring the Net Cumulative Converge of a Print Campaign." *Journal of Advertising Research*, 4, pp.23-28
- [2] Leckenby, J. D. and S. Kishi (1982) "How Media Directors View Reach/Frequency Estimation," *Journal of Advertising Research*, 22(3), Jun/July pp.64-69
- [3] Leckenby, J. D. and S. Kishi (1984) "The Dirichlet Multinomial Distribution as a Magazine Exposure Model." *Journal of Marketing Research*, 21(February) pp. 100-106
- [4] Danaher, P. J. (1991) "A Canonical Expansion Model for Multivariate Media Exposure Distributions: A Generalization of the 'Duplication of Viewing Law'" *Journal of Marketing Research*, 28, August p.361-367
- [5] Kiley, D. (1998) "Optimum target," *Brandweek*, 39 (20) May 18, U38-U42.
- [6] 大西浩志, 石田健仁, 青山浩之, 猿渡康文, 猪飼美羽 (2003) 「テレビ番組 CM の割付に対する数理的アプローチ」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会 予稿集 pp. 200-201.
- [7] 猪飼美羽, 猿渡康文, 大西浩志 (2003) 「テレビ番組の CM 割付問題に対する解法」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会 予稿集 pp.280-281.
- [8] DeMaeyer, P. and R. Kohli (2002) "Structure, Design and Algorithms for a Media Optimizer," Working Paper of Graduate School of Business, Columbia University.
- [9] 仲川勇二 (1990) 「離散最適化問題のための新解法」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J73-A, No.3, pp.550-556
- [10] R.E.Marsten, T.L.Morine "A hybrid approach to discrete mathematical programming," *Math. program*, Vol.14 (1974) 21-40.
- [11] Y. Nakagawa, A. Iwasaki, "Modular Approach for solving nonlinear knapsack problems," *IEICE transactions on Fundamentals E82-A (9) (1999) 1860-1864.*
- [12] Y. Nakagawa, An improved surrogate constraints method for separable nonlinear integer programming, *Journal of the Operations Research Society of Japan* 46 (2) (2003).
- [13] Y.Isada, R. J. W. James, Y.Nakagawa: "An approach for solving nonlinear multiobjective separable discrete optimization problem with one constraint", to appear in *European Journal of Operational Research*.