

紙面別接触状況を考慮した新聞広告最適出稿計画問題

伊佐田 百合子
関西学院大学

井垣 伸子
関西学院大学

山川 茂孝
(株)電通

仲川 勇二
関西大学

(受理 2005年5月31日; 再受理 2007年5月31日)

和文概要 本論文では、新聞広告における最適出稿計画問題を取り上げる。広告メディアのプランニングは、近年急速にシステム化が進んだ分野であり、最適マイザーと呼ばれる最適出稿計画システムは、その中心的役割を担っている。しかしながら、最適化問題の複雑さから、グリーディー法を中心としたヒューリスティクスをエンジンとして使用し、メディアプランナーはそのアウトプットを信用し、採用するしか方法が無かった。本論文では、新聞広告の最適出稿計画問題に適切な設定を行えば、目的関数が分離可能になることに注目し、それを非線形ナップザック問題として定式化し、仲川らの開発した HOPE と呼ばれる最適化ツール群を用い、厳密解を求めた上で、問題特性について解析する。

キーワード: マーケティング, 広告, 最適化, アルゴリズム, 多目的非線形ナップザック問題

1. はじめに

近代的メディアプランニングは、視聴者・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最適マイザーの導入により広く認知されるに至った。

まず、露出分布推定法についていえば、Metheringham [15] により提唱された負の二項分布による方法が、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 [11]。その後も改良がなされ、Dirichlet 分布を用いたアプローチ [12] 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 [2] 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最適マイザーを導入した時代であった [10]。通常最適マイザーとは、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。また最適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 [20]。

各社が利用している最適マイザーは現在も改良が進んではいないものの、未だいくつかの問題点を有している。第一の問題は、最適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最適マイザーがほとんどである。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。本論文で取り扱う新聞は、わが国においてテレビに次ぐ第二位の広

告媒体でありながら、最適化問題として取り上げられることの少なかったメディアである。

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。例えば Danahar[3] は、正準展開を用いた露出分布を基に、プランをグリーディーに探索するアルゴリズムを提案している。同様に DeMaeyer and Kohli [13] も比較的実行速度の速いヒューリスティクスを採用している。彼らは、時間の掛かる厳密解法より、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ふ、インタラクティブな環境を提供する方が有益であると主張している。

これら二つのいずれの問題点も、露出分布における重複接触の構造が複雑であり、また調査データの規模・精度に限りがあることが背景にある。現実の問題を解くためには、多くの場合定式化を簡素化し、またアルゴリズムを高速化するためにヒューリスティクスを採用せざるを得ない。

本論文は、露出最適化問題を全国規模でしかも厳密解法により解こうとするものである。その際問題を簡略化するのではなく、多くの露出最適化問題で出現する「分離可能性 (separability)」に注目する。例えばテレビのスポット広告はエリア毎に買い付けを行うため、エリア毎に目的関数をまとめれば分離可能である。また本論文で取り扱う新聞広告に関しては、経済紙など専門的な新聞を除けば、新聞間では読者はほとんど重複せず、分離可能である。ただし新聞の場合には、朝刊と夕刊では読者は多く重複するため、定式化には工夫が必要である。

分離可能な目的関数を持つ最適化問題への定式化には、近年開発された最適化ツールである HOPE (Hybrid Optimization Process Equipment)[16] を利用できるというメリットがある。HOPE は大規模な非線形ナップザック問題に対し厳密解を求めることが可能であり、また複数の目的関数を持つ多目的問題も扱うことが可能である。先に述べたように、多くの露出最適化問題は分離可能な問題として定式化できるが、目的関数のみならず、費用に関しても規模の経済性など非線形要素が残る。

本論文は以下のように構成されている。まず次節では、新聞広告の出稿について簡単に説明する。本論文では、単なる部数の最大化ではなく、閲読数と接触数の2つの目的関数を共に最大化する多目的問題を取り扱う。第3節及び第4節では、問題の定式化及び新聞広告出稿問題の分割可能性を利用した問題の分割について説明する。第5節では、HOPE とそのアルゴリズムの簡単な解説を行い、第6節以下で、HOPE を用いた新聞広告最適化問題の数値実験結果を示し、実際のメディアプランニングにおける本研究の意義について議論する。

2. 新聞広告最適化問題とは

新聞はテレビに次ぐ第二位のマス広告媒体であり [22]、メディアプランニングにおいても大きな予算ウェイトを占める。しかしながら、テレビや他の媒体と違い、一般紙同士では読者に重複が極端に少なく、同一紙では朝・夕刊を含め読者の重複が多い、という特色を持つ。一般に、広告の効果は階層的なモデルを用いて説明される。最も広く知られているモデルとしては ARF モデルや DAGMAR[21] があるが、新聞の場合、「媒体の到達」を示すデータとしては、媒体自体の到達、すなわち、新聞を購入しているかどうかを示す販売部数や新聞がどの程度読まれたかを示す閲読率が用いられ、さらに「広告への接触」への橋渡しとして、

新聞の特定の紙面を読んだかどうかを示す面別接触率や特定の広告を見たかどうかを示す広告接触率が用いられることが多い。面別接触率や広告接触率の数字は新聞社が独自に集計・調査していることが多く、その一部は新聞社のホームページでも公表されている。

伊佐田ら [5] は、新聞広告に関する最適化問題を販売部数の最大化の観点から議論した。販売部数は、媒体の到達を示す指標であり、媒体が読まれたかどうか、更には、広告が見られたかどうかを保証しない。また、伊佐田ら [6] は、新聞広告の到達レベルとしてより深い段階である閲読率と面別接触率を新聞広告の評価指標として用い、閲読数最大と接触数最大の2つの目的関数を持つ最適化問題として議論した。しかし、ここでは、中央紙4紙しか対象としていなかった。そこで、本論文では、現実の新聞メディアプランニングの状況を取り扱うために、対象範囲を中央紙4紙のみから地方紙などを含む48紙に拡大して、上記と同様の2目的最適化問題を議論する。

今回対象としたのは、中央紙A新聞、B新聞、C新聞、D新聞の4社と3社のブロック紙、41社の地方紙である。各新聞社には、いくつかの本支社が存在し、そのそれぞれが別の新聞をもっている。たとえば、A新聞社には、東京本社、大阪本社、名古屋本社、西部本社があり、B新聞社は、東京本社、大阪本社、中部本社、西部本社、C新聞社とD新聞社には、東京本社、大阪本社がある。ブロック紙は複数の都道府県にまたがる地域を発行エリアとする新聞である。また、地方紙は基本的にはその地方のみをカバーしている版を持つ。本論文では、ブロック紙については、地域別の版については考慮せず、カバーしている全地域の版のみを対象とする。これは、全国版の地域版とのサイズのバランスをとるためである。以降、本論文では、ブロック紙を含めて地方紙と呼ぶことにする。

さて、広告を載せる新聞社を選ぶとき、中央紙に関しては、その新聞社の、1つまたは複数の本支社版に出稿するか、全国版に出稿するかを選択しなければならない。全国版に出稿するということは、すべての本支社版に広告を掲載することである。この場合、ボリュームディスカウントが適用されるので、すべての本支社版個々に出稿依頼するよりも広告料金が安くなる。地方紙に関しては、その新聞に出稿するかしないかの選択のみである。また、それぞれの新聞はいくつかの紙面で構成されているので、出稿に際して紙面を選択することもできる。新聞の紙面の呼称は、各新聞社では共通ではなく、各新聞社の本支社においても異なる場合がある。ここでは、各新聞社、本支社で呼称の異なる紙面を共通のカテゴリに分類し、対象とする広告の掲載紙面は、政治、国際、経済、スポーツ、暮らし、商況、テレビ、第1社会、第2社会、教育の10種類とした。ただし、同一新聞社の同一版の複数の紙面に同じ広告が出稿されることはない。したがって、新聞社のある版についての広告出稿は、10種類の紙面のいずれかに出稿するか、紙面を指定せずに出稿するか、出稿しないかの12種類の選択肢の中から決定することとなる。閲読率は、全新聞社のどの本支社版、あるいは、全国版に出稿するかを決定することにより変化し、面別接触率は、新聞社のどの本支社版、あるいは、全国版のどの紙面に出稿するかにより変化する。広告料金は、ある新聞社では、どの本支社版、あるいは、全国版に出稿するかにより決定するが、ある新聞社では、広告掲載紙面別に広告出稿料金が決まっており、新聞社のどの本支社版、あるいは、全国版のどの紙面に出稿するかにより決定する。すなわち、新聞社は、紙面別料金体系を採用している場合とそうでない場合が存在する。

現実の新聞メディアプランニングでは、どの新聞社のどのエリア版のどの面に出稿するかということ以外に、広告のサイズ、色、位置、回数などを考慮する必要があるが、今回のモデルでは、記事下にモノクロ1段広告を1回出稿するものとして検討した。

3. 問題の定式化

このモデルで対象とする4つの中央紙と44の地方紙に1~48の通し番号を付け、それを新聞社番号と呼び、それを表す変数を i とする。各新聞社において、出稿可能なエリア選択肢にも番号を付ける。たとえば、A社($i=1$)の全国版のエリア番号は0とし、東京本社版、大阪本社版、名古屋本社版、西部本社版をそれぞれ、エリア番号1, 2, 3, 4とする。B社($i=2$)のエリア番号は、同じく0, 1, 2, 3, 4であり、C社($i=3$)、D社($i=4$)のエリア番号は0, 1, 2である。その他の地方紙についてのエリア番号は0のみである。上記の新聞社番号 i とエリア番号 j の可能なすべての組み合わせ (i, j) の集合を S とすると、すなわち、 $S = S_1 \cup S_2 \cup S_3$ と書ける。ここで、 S_1, S_2, S_3 は、次のように定義されたものである。

$$\begin{aligned} S_1 &= \{(i, j) \mid i = 1, 2, j = 0, 1, 2, 3, 4\} && : \text{A社, B社に対応} \\ S_2 &= \{(i, j) \mid i = 3, 4, j = 0, 1, 2\} && : \text{C社, D社に対応} \\ S_3 &= \{(i, j) \mid i = 5, 6, \dots, 48, j = 0\} && : \text{その他の地方新聞社に対応} \end{aligned}$$

さて、 S に含まれる各 (i, j) に対して、意思決定変数 $x_{i,j}$ を次のように定義する。

$$x_{i,j} \equiv \left\{ \begin{array}{l} 0 : \text{その版に出稿しない} \\ 1 : \text{紙面を指定せずに出稿する} \\ 2 : \text{政治面を指定して出稿する} \\ 3 : \text{国際面を指定して出稿する} \\ 4 : \text{経済面を指定して出稿する} \\ 5 : \text{スポーツ面を指定して出稿する} \\ 6 : \text{暮らし面を指定して出稿する} \\ 7 : \text{商況面を指定して出稿する} \\ 8 : \text{テレビ面を指定して出稿する} \\ 9 : \text{第1社会面を指定して出稿する} \\ 10 : \text{第2社会面を指定して出稿する} \\ 11 : \text{教育面を指定して出稿する} \end{array} \right. \quad (3.1)$$

各意思決定変数 $x_{i,j}$ の値を決めることによって、どの新聞社のどのエリア版のどの紙面に広告を載せるかが決まることとなる。 $x_{i,j}$ の値によって決まる閲読数を $r_{ij}(x_{ij})$ 、面別接触数を $w_{ij}(x_{ij})$ とし、 $x_{i,j}$ の値によって生ずる広告コストを $c_{ij}(x_{ij})$ とおく。今、与えられた予算を b とすると、我々の問題は、その予算内で、総閲読数と総接触数の2つの評価指標を最大化することである。したがって、次のような2目的のナップザック問題 P^0 として定式化することができる。

$$[P^0] : \text{Maximize } \sum_{(i,j) \in S} r_{ij}(x_{ij}), \quad (3.2)$$

$$\sum_{(i,j) \in S} w_{ij}(x_{ij}), \quad (3.3)$$

$$\text{subject to } \sum_{(i,j) \in S} c_{ij}(x_{ij}) \leq b. \quad (3.4)$$

ここで、総閲読数は、各紙面に対してではなく、新聞のエリア版に対して定義される数字であるので、その版に出稿しない場合はそれに対する閲読数は0である。また、その版に出

稿する場合は、それに対する閲読数は出稿する紙面に関係なく一定である。もう一つの目的関数である総接触数の式においては、ある i, j についてそれに対応する面指定が不可能な場合は、 $w_{ij}(x_{ij}) = 0$ とおいた。

表1, 表2は、中央紙の購読者における閲読と面別の接触状況についてA社東京本社版, B社東京本社版の例を示したものであり、表3は、地方紙の1社について例示したものである。各表は率(閲読率と面別接触率), 部数(閲読数と接触数(率に販売部数を乗じた値)),

表1: 購読者における閲読・接触状況 (A社東京本社版の場合)

	面番号	紙面	率	部数(部)	広告料金(円)	部数/広告料金*
閲読	-	-	79.5	3751219	2033500	1.84
接触	2	政治	66.8	3151968	1944000	1.62
	3	国際	67.4	3180279	1944000	1.64
	4	経済	68.6	3236901	2056000	1.57
	5	スポーツ	70.7	3335990	2056000	1.62
	6	暮らし	72.8	3435079	2056000	1.67
	7	商況	40.2	1896843	1758000	1.08
	8	テレビ	86.8	4095671	1944000	2.11
	9	第1社会	88.2	4161730	2298000	1.81
	10	第2社会	83.8	3954116	2298000	1.72
	11	教育	72.3	3411486	1981000	1.72

*: 閲読に関する費用あたりの部数は紙面別費用の平均値を基に算出

表2: 購読者における閲読・接触状況 (B社東京本社版の場合)

	面番号	紙面	率	部数(部)	広告料金(円)	部数/広告料金*
閲読	-	-	78.3	5156962	2432000	2.12
接触	2	政治	68.7	4629328	2493000	1.86
	3	国際	67.9	4556638	2493000	1.83
	4	経済	67.9	4617350	2493000	1.85
	5	スポーツ	73.3	4934982	2493000	1.98
	6	暮らし	61.0	4416250	2493000	1.77
	7	商況	41.0	2855499	2493000	1.15
	8	テレビ	84.8	5706008	2912000	1.96
	9	第1社会	85.1	5728013	2732000	2.10
	10	第2社会	82.8	5579140	2732000	2.04
	11	教育	68.7	4672520	2493000	1.87

*: 閲読に関する費用あたりの部数は面指定しない場合の費用を基に算出

広告料金と単位コスト(部数を広告料金で除したもの)で構成されている。新聞社によって販売部数が大きく異なるため、閲読率や接触率が同程度であっても新聞がどの程度読まれたのかは新聞の販売部数に依存する。広告料金は販売部数が多い新聞社ほど高くなる傾向にあり、中央紙と地方紙では地方紙が安くなる。単位コストは各新聞社の広告のパフォーマンス

表 3: 購読者における閲読・接触状況 (地方紙の場合)

	面番号	紙面	率	部数 (部)	広告料金 (円)	部数/広告料金*
閲読	-	-	62.8	930167	565000	1.65
接触	2	政治	-	-	-	-
	3	国際	74.0	911342	678000	1.34
	4	経済	78.5	966761	678000	1.43
	5	スポーツ	78.1	961835	678000	1.42
	6	くらし	83.4	1027107	678000	1.51
	7	商況	27.4	337443	678000	0.50
	8	テレビ	95.8	1179818	678000	1.74
	9	第1社会	62.8	930167	678000	1.65
	10	第2社会	-	-	-	-
	11	教育	-	-	-	-

*: 閲読に関する費用あたりの部数は面指定しない場合の費用を基に算出

スを示しており、閲読数や接触数が少ない場合でも広告料金が安い場合には広告のパフォーマンスは高くなる場合がある。したがって、地方紙の中には中央紙と比較して閲読数や接触数が低いにもかかわらず、広告のコストパフォーマンスに優れたものが存在する。ドミナンスを考えた場合、新聞社が紙面別料金体系を採用していなければ、最も接触数の高い紙面に出稿するか全く出稿しないかの選択となり、紙面別料金体系を採用しておれば、選択される代替案数は料金の階層数を越えることはない。中央紙は全て紙面別料金体系を採用しており、出稿しないという選択肢を含めてどの紙面に出稿するかという決定変数は4程度に絞られる。一方、地方紙は紙面別料金体系を採用している新聞社とそうでない新聞社に分類することができる。紙面別料金体系を採用している新聞社の決定変数は3程度に絞られ、採用していない新聞社の決定変数2である。したがって、ドミナンスによって残される代替案の数は全体で155となる。対象の新聞社の本支社版の全ての紙面を対象として予算内で最適な出稿を行うこの問題は、ドミナンスにより新聞社毎の代替案が減少したとしても、155の代替案の中から予算内で収まるような最適な組合せを選択する問題となる。使用したデータのうち閲読率に関するデータは、中央調査社による世帯インデックスリポートに基づいており、面別接触率は、各新聞社別々の調査方法で得られたデータである。普通に考えると、閲読率と接触率では、閲読率のほうが高くなると考えられるが、データの集計元がそれぞれ異なっていることから、表1、表2、表3に見られるように、広告を出稿する面によっては、接触率が閲読率より高い場合がある。

データの信頼性の観点からは、測定基準が同一ではない面別接触率データの精度は閲読率のデータより低いといえよう。しかし、閲読率のみを評価指標として広告出稿計画を策定した場合、出稿紙面に関係なく閲読率は一定となるため、商況面のような出稿価格が低く設定された紙面が有利となり、実用上好ましくない。評価指標として、面別接触数を用い、多目的問題として扱うことにより、この問題に対応している。

さて現実問題として、たとえばA新聞社で全国版に出稿する場合、同じA新聞社のある本支社版に重ねて出稿することはないであろう。ある新聞社の全国版に出稿することは、その新聞社のすべての本支社版に出稿するのと出稿範囲が同じになるからである。このよう

な，全国版と本支社版との重複を避けるために，問題の分割を考える．

4. 問題の分割

前節で定式化した主問題 P^0 を，表 4 にあるように問題 $P^1 \sim P^{16}$ の合計 16 個の部分問題に分割して考えることにする．各部分問題においては，どの新聞社についても，全国版の変数と本支社版の変数が同時に含まれることはない．この表によると，たとえば，問題 1 において消失している新聞社番号とエリア番号の組み合わせの集合を $T_1 = \{(1, 0), (2, 0), (3, 0), (4, 0)\}$ とすると，部分問題 P^1 は以下のように定式化することができる．

$$[P^1] : \text{Maximize} \quad \sum_{(i,j) \in S \setminus T_1} r_{ij}(x_{ij}), \quad (4.1)$$

$$\sum_{(i,j) \in S \setminus T_1} w_{ij}(x_{ij}), \quad (4.2)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{(i,j) \in S \setminus T_1} c_{ij}(x_{ij}) \leq b. \quad (4.3)$$

ここで， $S \setminus T_1$ は $S - T_1$ ，すなわち， S から T_1 を除いた部分の集合を表す．同様にして，部分問題 P^2 から部分問題 P^{16} も定式化することができる．我々は，主問題 P^0 を解く代わりに，それと等価であるこれら 16 個の部分問題を解くことにする．

表 4: 出稿エリアの組合せによる問題分割

新聞社 番号	エリア 番号	問題番号															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0																
	1																
	2																
	3																
	4																
2	0																
	1																
	2																
	3																
	4																
3	0																
	1																
	2																
4	0																
	1																
	2																
5 ~ 48	0																

：該当する新聞社番号・エリア番号の新聞に出稿する

5. 解法アルゴリズム

今回の問題のように、変数が離散値をとる多目的非線形ナップザック問題は、解くことが難しい問題とされており、厳密解法はほとんど開発されていない[4], [8]。しかしながら、今回は、仲川により開発されたHOPEを用いることにより、この問題の厳密なパレート最適解を高速に求めることができた。HOPEは、基本的には、モジュラー法 (Modular Approach)[16] と呼ばれるアルゴリズムに基づき設計されている。モジュラー法は、単一制約単一目的の離散最適化問題を厳密かつ高速に解くことができるアルゴリズムである。

離散最適化問題を解くための代表的な方法には、分枝限定法と動的計画法がある。MarstenとMorin[14]は、動的計画法に分枝限定法の限定操作を導入した方法を提案し、この方法をハイブリッドDP/B&Bと呼んだ。モジュラー法は、このハイブリッドDP/B&Bをさらに拡張した方法である。モジュラー法は、動的計画法と同様にボトムアップ的な手法であるが、実行可能性操作、限界値操作、優越操作の3つの深測操作を実施するモジュールの選択と、モジュールの統合方法の選択を可能とすることで、さまざまな種類の問題に対してより強力に列挙範囲を限定することが可能である。

HOPEは、非線形ナップザック問題のための最適化ツール群であり、その中の主なツールとしては、HopeExact (単一目的複数制約問題のための厳密解法 (ISC法 [17] の改良版))、HopeNear[18] (単一目的複数制約問題のための近似解法)、HopeMultiObjective[7] (多目的単一制約問題のための厳密解法)、HopeQuadratic[9] (二次計画問題のための解法) などがある。例えば、HopeExactは、ChuとBeasley[1]の論文で用いられた5制約で変数の数が250と500の0-1ナップザック問題各30問を使用した問題を用いた計算機実験において、高速により良い解が得られたことが示されている[19]。

従来よりメディアプランニングにおいては、近似解法であるグリーディーアルゴリズムや遺伝的アルゴリズムが採用されているが、本研究では、HopeMultiObjective[7]を使用することで、厳密解を求めることに成功した。以下本論文では、HopeMultiObjectiveを略して、H.M.O.と記すことにする。

6. 計算実験結果

一般に、複数の目的関数が存在する意思決定問題においては、意思決定支援者が各目的関数に関する重みを事前に決めておくことができない場合が多い。そのために、意思決定支援システムとしては、多様な解を提示しその中から意思決定支援者の好みに合った解を選択してもらうというのが通常の手順である。本研究で使用したH.M.O.は、多目的関数の重みと列挙する解の上限の個数を入力し、それに適合する解を出力する。今回は、2つの目的関数の重みをそれぞれ0.5とし、列挙する解の個数の上限を10として解いた。そうして得られた結果を表5に示す。表5には広告予算、パレート最適解とパレート最適解で得られる総読数と総接触数が記載されている。パレート最適解というのは、広告予算内で出稿できる新聞の掲載紙・版・紙面の組合せのうち、2つの目的関数である接触数と読数の両方において、他の組合せに負けることのない組合せのことである。たとえば、表2の予算400万円のところをみると5通りのパレート最適解が並んでいるが、これらのうち、どの二つを比べても、その片方がもう片方よりも接触数と読数の両方において優れている解であるとは言えない。言い換えれば、パレート最適解でない解は、接触数と読数の両方において、5通りのパレート最適解のうち少なくとも1つの解よりも劣っている。

意思決定者は、表5で提示されたパレート最適解の中から、自分の好みに合ったものを選

択することができる．例えば，予算 100 万円の時のパレート最適解が 3 つある．これらの解の中で，総接触数が最大なのは最初の解であり，総閲読数が最大の解は 3 つ目の解である．2 つ目の解は，総接触数では 3 番目の解に勝り，総閲読数では 1 番目の解に勝る解である．予算 200 万円の場合は，総閲読数を最大化する解と総接触数を最大化する解が同一であるので，解は 1 つである．この表を見ると，接触率の高いテレビ面 ($x_{ij} = 8$) やスポーツ面 ($x_{ij} = 5$) が解の中に多く入ってくるのがわかる．また，広告料金の安い地方紙が解の中に含まれることも多い．

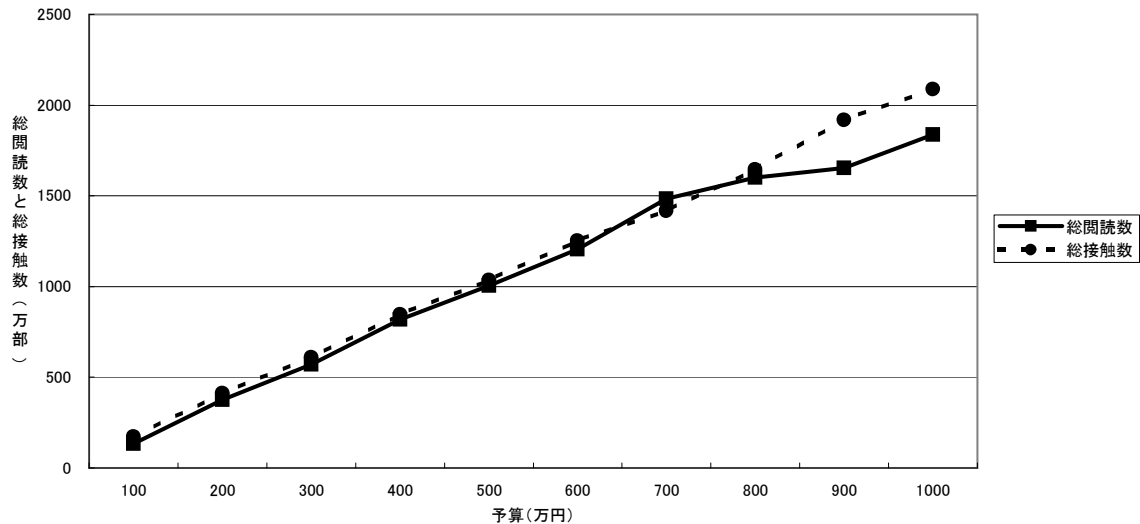


図 1: 予算に対する総閲読数・総接触数の推移

図 1 は得られたパレート最適解の中で閲読数を最大にする解で広告を出稿した場合の総閲読数と接触数を最大にする解で広告を出稿した場合の総接触数の予算別の推移を表したものである．図 1 をみると，予算が増えるにつれて，明らかに総閲読数と総接触数がともに増加している．

次に，予算に対する総閲読数と総接触数の変化を見ると，図 1 が示すように，予算が 700 万円以上になる時に，最適総閲読数と最適総接触数の間にギャップが見られる．実際，予算 700 万円までの最適総閲読数の 100 万円あたりの伸び率の平均を 100 とすると，予算 700 万円～800 万円の伸び率は，52.72，予算 800 万円～900 万円の伸び率は，22.54 である．一方，最適総接触数は，予算 700 万円までの最適接触数の 100 万円あたりの伸び率の平均を 100 とすると，予算 700 万円～800 万円の伸び率は，110.11，予算 800 万円～900 万円の伸び率は，130.94 である．このことから，予算 700 万円以上では，広告面を的確に選ばずに総閲読数のみを最大化する方法では，コストに見合うだけの効果が得られない．一方，最適な紙面を選びさえすれば，コストパフォーマンスが非常によくなるのがわかる．

図 2 は，100 万円単位の最適総閲読数と最適総接触数の感度（増分）を示したものである．予算が増えるに従い総閲読数と総接触数は共に増加するが，図 2 をみると，増加率は一定ではないことがわかる．予算を増やすことによって大きく総閲読数や総接触数を増加させることができる場合もあれば，投入したコストに見合うだけの効果が得られない場合もある．例えば，総接触数の単位予算あたりの増加率は，予算を 500 万円から 600 万円に増加した場合 2.15 であるが，予算を 600 万円から 700 万円に増加した場合 1.65 である．500 万円から 600 万円の 100 万円の予算増と，600 万円から 700 万円の予算増では 600 万円から 700 万円の予

表 5: パレート最適解

予算 (万円)	接触数 (部)	閲読数 (部)	広告料金 (円)	パレート最適解 (掲載紙, 版, 面)						
100	1720280	1023970	977000	6,0,8	35,0,1					
	1717000	1203360	988000	6,0,8	29,0,1					
	1594570	1341150	990000	4,2,9	29,0,1					
200	4113220	3752370	1969270	1,1,8	46,0,1					
300	6094150	5483960	2997000	2,1,9	21,0,1					
	5709830	5710600	3000000	2,1,5	19,0,1	29,0,1				
400	8456460	7458100	3983000	1,0,8	6,0,8					
	8334030	7595880	3985000	1,0,8	4,2,9					
	7879390	8146770	3989000	2,0,5	20,0,1					
	7803910	8149520	3942270	2,0,5	23,0,1	46,0,1				
	7803140	8193640	3999000	2,0,5	40,0,1					
500	10364100	9158740	4975000	1,1,8	2,1,9	35,0,1				
	10360900	9338140	4986000	1,1,8	2,1,9	29,0,1				
	9909500	9529730	4996000	1,0,8	2,2,1	6,0,1				
	9862880	9612510	4991000	1,1,8	2,1,5	47,0,1	29,0,1			
	9803980	10054400	4981270	1,2,8	2,0,5	46,0,1				
600	12516200	10080700	5979000	2,0,9	6,0,8	7,0,1				
	12449300	11965300	5995000	1,0,8	2,1,5	19,0,1				
	12350800	11983600	5998000	1,0,8	2,1,5	2,3,5				
	12069000	12006800	5997400	1,1,8	2,0,5	19,0,10				
	12054000	12007900	5983270	1,1,8	2,0,5	19,0,1	46,0,1			
	11992300	12063500	5996000	1,1,8	2,0,5	13,0,1				
700	14167100	13914400	6974270	1,0,8	2,1,5	2,2,5	46,0,1			
	11036900	14831500	6991000	1,0,7	2,0,5	20,0,1				
	10961400	14834200	6944270	1,0,7	2,0,5	23,0,1	46,0,1			
800	16451300	14687800	7990270	1,0,8	2,1,9	2,2,9	6,0,8	46,0,1		
	16450400	15840500	7986000	1,0,8	2,0,5	6,0,1	35,0,1			
	16447100	16019900	7997000	1,0,8	2,0,5	6,0,1	29,0,1			
900	19167700	16423100	8941270	1,0,8	2,0,9	7,0,1	29,0,1	46,0,1		
	17712100	16526800	8995000	1,1,8	1,2,8	2,0,5	4,0,1	7,0,1		
1000	20867800	17677700	9989270	1,0,8	2,0,9	4,2,9	6,0,8	7,0,1	46,0,1	
	20759500	17797500	9984000	1,0,8	2,0,9	3,2,1	7,0,1	29,0,1	35,0,1	
	20755500	17865800	9991000	1,0,8	2,0,9	4,0,9	7,0,1	21,0,1		
	20602300	17969900	9961270	1,0,8	2,0,9	4,0,1	7,0,1	29,0,1	46,0,1	
	20331300	18312300	9995000	1,0,8	2,0,5	4,0,9	6,0,8	7,0,1	29,0,1	47,0,1
	20194900	18380900	9996000	1,0,8	2,0,5	4,2,9	6,0,1	7,0,1	29,0,1	47,0,1

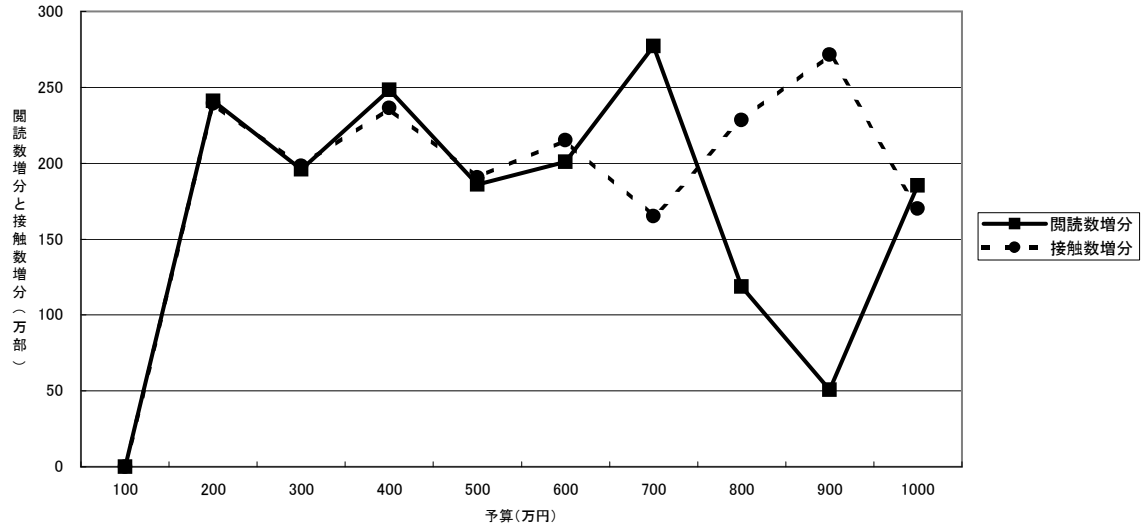


図 2: 100 万円単位の最適総読数と最適総接触数の感度 (増分)

算増の方が総接触数の増加につながらず感度が鈍い。つまり、予算額を増額してもそれに見合うだけの効果につながらない場合がある。

図 3 は、得られたパレート最適解の中で接触数が最大となる解で得られる広告を出稿すべき新聞社エリア紙面を示している。

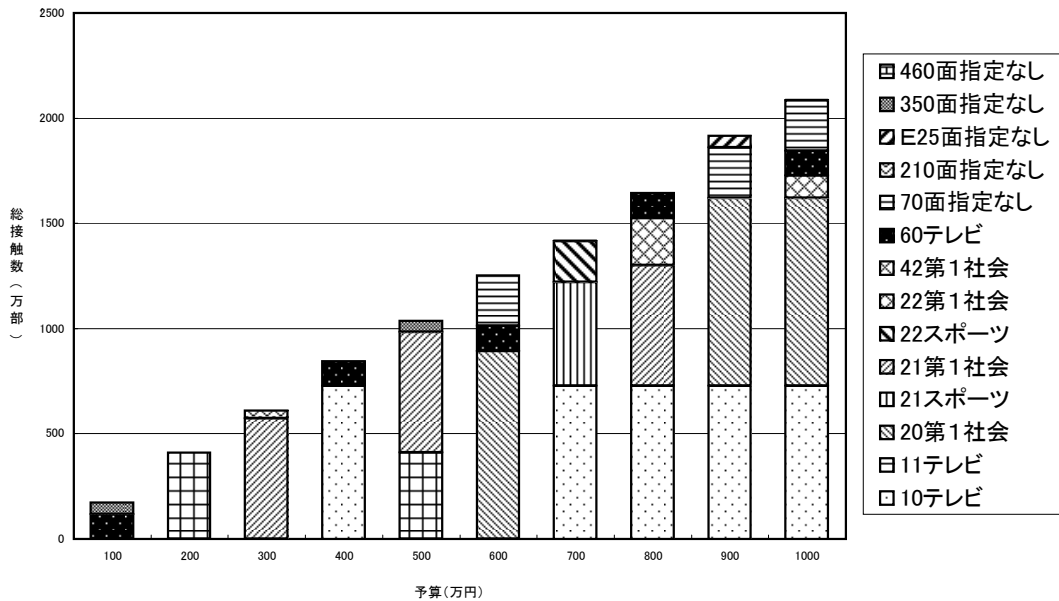


図 3: 予算別最適出稿計画 (接触数最大)

これをみると「1,0」(A社のエリア番号0)のテレビ面がコストパフォーマンスがいいことがうかがえる。しかしながら、この面に出稿できるだけの予算があれば、常にこの面がパレート最適解に入るわけではない。予算 500 万円と 600 万円の場合には、パレート最適解から外れている。常に最もコストパフォーマンスの高い紙面に出稿することが、予算枠の中で総読数と総接触数が最大になるような出稿先の組合せを実現するとは限らないからである。表 5 で得られたパレート最適解の中で読者数が最大になる解について新聞社別に集計し

たものが図4である．一方，図5は，接触数が最大になる解について新聞社別に集計したものである．

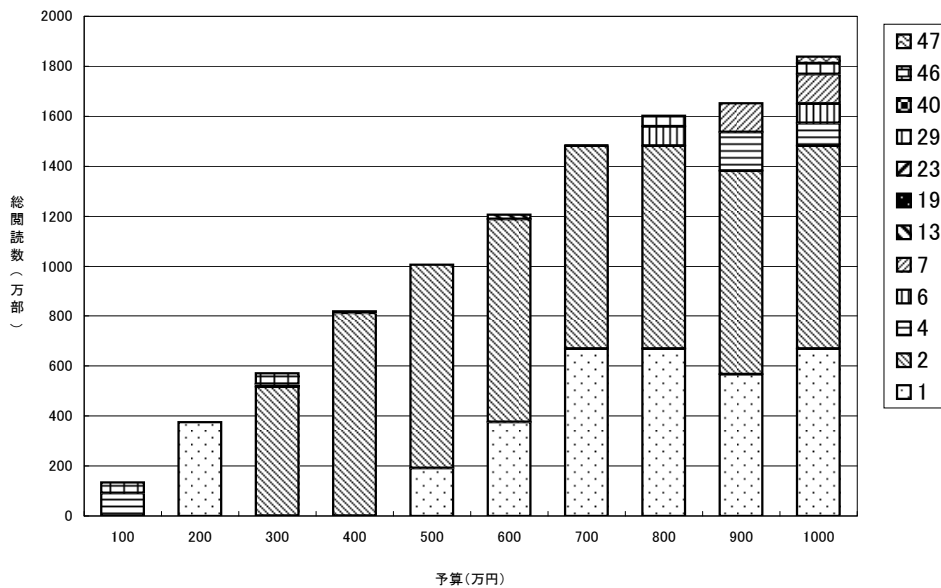


図 4: 予算別最適出稿時の新聞社構成 (読読数最大)

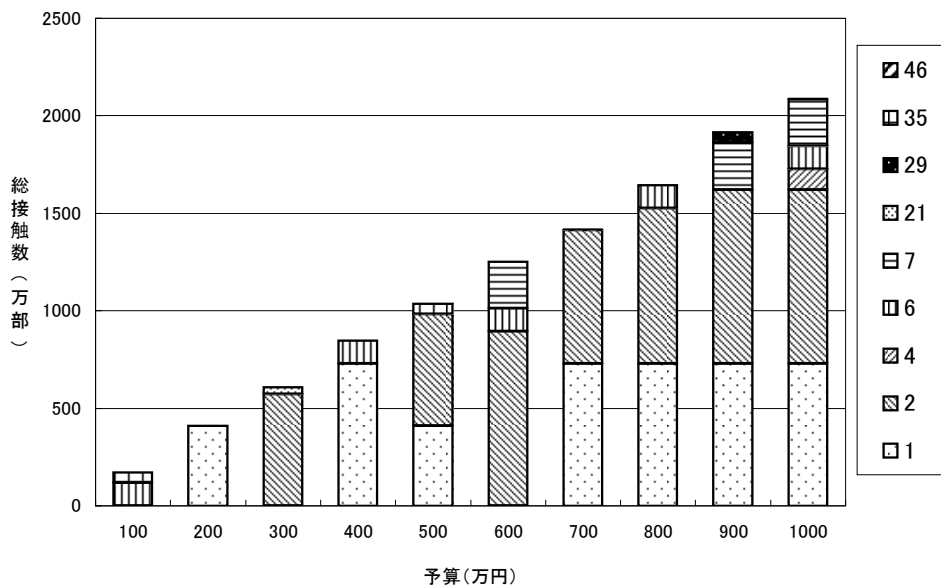


図 5: 予算別最適出稿時の新聞社構成 (接触数最大)

図4と図5を比較すると，予算400万円のところで，出稿すべき新聞社が大きく変化している．A社としては，広告主に図4を見せたいであろうし，B社としては図5を使用したいと考えるであろう．逆に，広告主の立場であれば，A社には図5を見せ，B社には図4を見せて価格交渉することが可能である．

7. グリーディー法との比較

コストパフォーマンスのよいものから順に採用していく方法をグリーディー法という。グリーディー法とH.M.O.法を比較するために、接触数のみを最大化するという単一目的の問題をこの二つの方法で解いてみた。その結果を図6に示す。

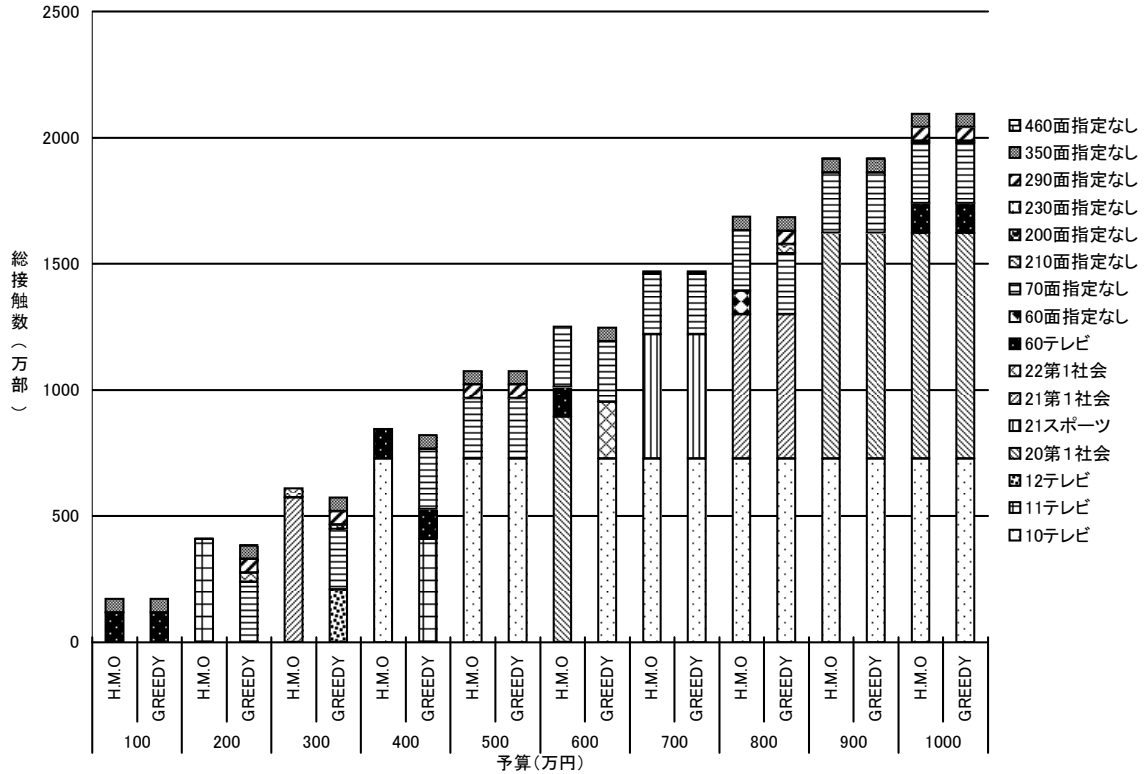


図6: 予算別最適出稿時の新聞社構成 (接触数最大)

表6は接触数におけるコストパフォーマンスの上位の紙面を表している。

表6: 接触数におけるコストパフォーマンスの上位5

順位	単位接触数	新聞社	版	面	コスト(円)	接触数(部)
1	2.23	7	0	面指定なし	1075000	2395370
2	2.20	1	0	面指定なし	3305000	7276642
3	2.12	2	0	面指定なし	4226000	8940997
4	2.11	1	1	面指定なし	1944000	4095671
5	2.10	2	0	面指定なし	2732000	5728013

図6によると、コストパフォーマンス1位の「7,0,面指定なし」は、グリーディー法の場合、予算200万円以上の場合は、必ず採用されている。この紙面への広告料金は1,075,000円であるため、予算100万円の場合には採用されない。また、コストパフォーマンス2位の「1,0,テレビ」への広告料金は3,305,000円である。予算500万円以上では、必ずこの紙面は採用されている。しかし、予算400万円では採用されていない。これは、グリーディー法においてはコストパフォーマンスで第1位の「7,0,面指定なし」をまず選ぶので、残りの予算で第2位の紙面が買えなくなってしまうからである。ところが、我々のH.M.O法で厳密解

を求めたところ、第1位の「7,0,面指定なし」をとらずに、第2位の「1,0,テレビ」が選択される。このように、ナップサック問題の特徴として、コストパフォーマンスのよい順に出稿紙面が選択されるわけではない。実際、予算200万円、300万円において、H.M.O法で求めた厳密解では、第1位の紙面は採用されていない。同様に予算600万円のところを見ると、第2位の紙面が採用されていない。もちろん、図6よりわかるように、厳密解法であるH.M.O法の解によって得られた総接触数は、グリーディー法における総接触数と比較して、常にそれ以上となる。

実用の観点から見れば、解を選択する視点は複数あるのが一般的である。この論文で扱っている問題も多目的であり、一つの目的関数に対する厳密解を求めることが目的ではない。H.M.O法は多目的の解法であるので、予算制約を満たす出稿紙面の組み合わせの候補を複数提示することができる。一方、グリーディー法は、単一の目的関数の場合にのみ使用できる方法であり、厳密解が得られる保証はない。しかしながら、本問題のどちらか一方の目的関数についてグリーディー法でといた解が、たまたま、もう一方の目的関数についてもパフォーマンスがよければ、H.M.O法で求めた解の候補に入ってくる可能性がある。H.M.O法では、目的関数の重みを変化させることによって、意思決定者がバランスのよいと考える解の候補を提示することができる。

8. むすび

新聞を例に現実的なサイズのメディアプラン最適化問題の厳密解を求めることが可能であることが、数値実験から明らかとなった。しかも本論文の定式化では、単純に部数だけでなく、目的関数を多目的に拡張し、パレート最適解を求めている。これは広告主の様々な要求に対して、フレキシブルに定式化が可能であることを示唆している。

さらに、得られた解が厳密解であるという点は、「代理店とメディアの間には馴れ合い体質があるのではないか」という広告主の不信感を払拭する上で、「信頼の証」「客観的ベンチマーク」として非常に重要であり、加えて、様々な交渉の現場で信頼度の高いエビデンスとして交渉材料ともなりうる。例えば、計算実験結果からわかるように、本論文の定式化を用いれば、予算毎の広告出稿計画における新聞社・エリア・掲載面の構成を調べることができる。すなわち、新聞単価に関する新聞社構成比の感度を知ることができる。これは例えばコスト交渉に挑む際の良い判断材料となる。

実社会の問題に適用する場合には、掲載する紙面を選択する以外に、色、広告のサイズが選択可能であり、今回対象とした問題の規模(48変数で各変数が12の代替項目案をもつ問題)以上に大きな規模の問題を解く必要がある。H.M.Oは1000変数で各変数が10の代替項目案をもつ問題を30秒程度で解くことができるため、問題の規模が大きくなった場合でも充分に対応可能である。一方、問題を分割する必要がある場合や、代理目的乗数などのパラメータを変更して繰り返し問題を解く必要がある場合には、並列処理を可能にすることにより総計算時間の増加を防止することが必要である。

今後の課題としては、新聞以外の媒体も含め、従来の近似解法で得られた解に対してどの程度有利な解が得られているかを検証する必要もあるであろう。また、特定のエリアにターゲットを絞った広告の出稿計画を策定するケースや、逆に偏りなく全国均一に広告を出稿したい場合などエリアカバレッジを考慮した最適広告出稿問題を検討することも必要であろう。さらに、実用のためには、広告出稿の意思決定者にとって使いやすい入出力システムの開発も必要であろう。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金（課題番号：18510139），及び，平成17年度帝塚山学園特別研究費の助成を受けて行われた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

- [1] P.C. Chu and J.E. Beasley: A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem. *Journal of Heuristics*, **6** (1998), 63–86.
- [2] P.J. Danaher: A canonical expansion model for multivariate media exposure distributions: A generalization of the “duplication of viewing law.” *Journal of Marketing Research*, **28** (1991), 361–367.
- [3] P.J. Danaher: Optimizing response functions of media exposure distributions. *Journal of the Operational Research Society*, **42-7** (1991), 537–542.
- [4] M. Ehrgott and X. Gandibleux: A survey and annotated bibliography of multiobjective combinatorial optimization. *OR Spektrum*, **22-4** (2000), 425–460.
- [5] 伊佐田百合子, 井垣伸子, 山川茂孝, 仲川勇二: 新聞の販売部数最大化問題における広告費の影響度. 京都大学数理解析研究所講究録, **1373** (2004), 255–262.
- [6] 伊佐田百合子, 井垣伸子, 山川茂孝, 仲川勇二: 出稿スペースを考慮した新聞広告最適化問題. 京都大学数理解析研究所講究録, **1383** (2004), 26–34.
- [7] Y. Isada, R.J.W. James, and Y. Nakagawa: An approach for solving nonlinear multiobjective separable discrete optimization problem with one constraint. *European Journal of Operational Research*, **162-2** (2005), 503–513.
- [8] D.F. Jones, S.K. Mirrazavi, and M. Tamiz: Multi-objective meta-heuristics: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research*, **137** (2002), 1–9.
- [9] 甲斐良隆, 仲川勇二, 田畑吉雄: 改良代理制約法の非分離形非凸計画問題への応用. 電子情報通信学会論文誌, **J88-A-3** (2004), 422–424.
- [10] D. Kiley: Optimum target. *Brandweek*, **39-20** (1998), U38–U42.
- [11] J.D. Leckenby and S. Kishi: How media directors view reach/frequency estimation. *Journal of Advertising Research*, **22-3** (1982), 64–69.
- [12] J.D. Leckenby and S. Kishi: The Dirichlet multinomial distribution as a magazine exposure model. *Journal of Marketing Research*, **21** (1984), 100–106.
- [13] P. DeMaeyer and R. Kohli: Structure, design and algorithms for a media optimizer. Working Paper, Graduate School of Business, Columbia University, 2002.
- [14] R.E. Marsten and T.L. Morine: A hybrid approach to discrete mathematical programming. *Mathematical Programming*, **14** (1974), 21–40.
- [15] R.A. Metheringham: Measuring the net cumulative converge of a print campaign. *Journal of Advertising Research*, **4** (1964), 23–28.
- [16] 仲川勇二: 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, **J73-A-3** (1990), 550–556.
- [17] Y. Nakagawa: An improved surrogate constraints method for separable nonlinear integer programming. *Journal of Operations Research Society of Japan*, **46** (2003), 145–163.

- [18] 仲川勇二: 多制約分離形離散最適化問題のための近似解法. 電子情報通信学会論文誌, **J87-A-5** (2003), 690–693.
- [19] 仲川勇二, 伊佐田百合子: 多次元非線形ナップザック問題のための分枝困難度法. 電子情報通信学会論文誌, **J88-A-8** (2004), 1002–1005.
- [20] 大西浩志, 石田健仁, 青山浩之, 猿渡康文, 猪飼美羽: テレビ番組 CM の割付に対する数理的アプローチ. *オペレーションズ・リサーチ*, **50-3** (2005), 151–158.
- [21] 清水公一: ビジュアル広告の基本 (日本経済新聞社, 1998).
- [22] 電通, 日本の広告費 2004,
http://www.dentsu.co.jp/marketing/adex/adex2004/_media.html

伊佐田百合子

関西学院大学総合政策学部メディア情報学科

〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2-1

ABSTRACT

MEDIA PLANNING PROBLEMS FOR JAPANESE NEWSPAPER
CONSIDERING PAGE SPACE

Yuriko Isada Nobuko Igaki Shigetaka Yamakawa Yuji Nakagawa
Kwansei Gakuin University *Dentsu Inc.* *Kansai University*

We formulate media planning problems of newspaper advertisement as a nonlinear knapsack problem and obtain an exact solution. For ad planners, in general, decision support systems are essential tools. An optimal media planning system, called “optimizer” in industry, plays the central role among them. However there is no guarantee that optimizers always generate truly optimal solution because computational logics equipped in those systems are usually heuristics such as greedy algorithm. In other words, planners have to blindly accept system outputs as optimal ones. We focus on the fact that many media planning optimization problems can be reformulated as problems with separable objective functions subject to a budget constraint, which can be solved by an optimization tool, called “HOPE,” developed by Nakagawa et al.