

広告素材の放送枠への割付最適化問題に対する 対話型意思決定

Interactive Decision Making for Allocation Optimization Problems of Advertisement Materials to Broadcast Time Slots

小林 亮太

Ryota Kobayashi

広島工業大学情報学部
情報工学科

ba08063@cc.it-hiroshima.ac.jp

加藤 浩介

Kosuke Kato

広島工業大学情報学部
情報工学科

k.katoh.me@it-hiroshima.ac.jp

片桐 英樹

Hideki Katagiri

広島大学工学研究院
電気電子システム数理部門

katagiri-h@hiroshima-u.ac.jp

杉浦 登

Noboru Sugiura

株式会社大広 R&D 局

noboru.sugiura@daiko.co.jp

Abstract—This paper focuses on allocation optimization problems of advertisement materials to broadcast time slots. For the problems, N. Sugiura et al. proposed interactive decision making approach to obtain practical allocation, but the verification of the effectiveness of the approach has not been done yet. The main aim of this paper is to report the result of applying the Sugiura's approach into an illustrative numerical example.

I. はじめに

本研究では、広告代理店が取り扱う多数の広告用放送枠に対して、得意先（広告主）の商品広告のための多種の広告用放送素材を割り付ける問題に注目する。このような広告用放送素材の放送枠への割り付け作業は、現状では、現場のスタッフの「経験」と「勘」に基づいて人手により行われる場合が多い。しかし、放送素材及び放送枠が数千以上存在するとともに、得意先から指定された予算、各種の要望及び放送局の事情などの複雑な制約条件をみとすように割り付ける必要があるため、割り付け作業には多大な時間と労力を必要とする。そこで、スタッフの作業負荷の軽減のために、自動的に割付を行う割付支援システムの構築が望まれている。さらに、人手による割付では、割付ミスが発生する危険性があるだけでなく、膨大な作業の中で何らかの意味での最適化（広告効果最大化や得意先満足度最大化など）に配慮しながら割付を行うことは困難である。このような割付ミスの防止や割付の最適化の実現という意味においても、割付支援システムは有効であると考えられる。

これまでに、著者の一人である杉浦らにより、Dr. Allocator III という割付支援システムが提案され、試験運用中である。Dr. Allocator III では、株式会社大広と広島大学との産学連携共同研究において考案された要求付公平割付法という自動割付アルゴリズムを採用す

ることにより割付の自動化を可能としている。そして、いくつかの例への適用を通して、従来の人手による割付結果より要求度最大化の意味で優れた割付を得られることが示されている。しかしながら、本システムで得られる割付が必ずしも最適解であるとは限らないという問題点がある。そこで、杉浦ら[1]は、上記の Dr. Allocator III の残された問題点を解決したより実用的な割付支援システムの実現を目指し、得意先から指定された予算、各種の要望及び放送局の事情などの複雑な制約条件の定式化（数式による表現）を行っている。そして、定式化された制約条件を含む問題を厳密に解くアルゴリズムを採用することにより、予算等の各種制約を必ず満たす解が得られるようにしている。さらに、複数存在する得意先の広告効果のバランスを考慮するための目的関数を定式化し、対話的に実用的な割付を導出する対話型意思決定アプローチを提案している。本研究では、杉浦ら[1]の方法を Excel VBA を用いて実装し、簡単な数値例を用いた動作確認を行う。

II. 問題の定式化

割付現場においては、複数存在する得意先（広告主）に対して、複数の商品が存在するとともにその商品ごとに複数の放送素材が存在するという状況で、多数の広告枠の各々に対して、いずれかの放送素材を割り付けている（各広告枠に対しては必ず1個の放送素材が割り付けられるが、各放送素材については複数の広告枠に割り付けられるものもあればどの広告枠にも割り付けられないものもある）。例えば、得意先が5社あり、各社の商品数が10で、各商品に対する放送素材が3個あるとすると、 $5 \times 10 \times 3 = 150$ の放送素材の中のどれかを各広告枠に割り付けることになる。

いま、 n 個の広告用放送枠があるとす。一方、得意先は p 社あり、各得意先 $k, k = 1, 2, \dots, p$ には q_k 種類

の商品があり、得意先 k の商品 $l, l = 1, 2, \dots, q_k$ には r_{kl} 個の放送素材があるものとする。

A. 決定変数

得意先 k の商品 l の放送素材 i を放送枠 j に割り付けるとき 1、割り付けないとき 0 の値をとる 0-1 変数 x_{klj} , $k = 1, 2, \dots, p, l = 1, 2, \dots, q_k, i = 1, 2, \dots, r_{kl}, j = 1, 2, \dots, n$ を決定変数とする。

B. 制約条件

(C1) 得意先毎に総割付料金の予算 b_k が定められており、総割付料金 $B_k(\mathbf{x})$ は

$$B_k(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} \sum_{j=1}^n c_j x_{klj} = b_k, k = 1, 2, \dots, p$$

を満たすことが望ましい。ここで、 c_j は放送枠 j の割付料金を表す。しかし、すべての k に対して上の等式を完全に満たすことは通常困難であるとともに実用上は多少のずれは許容されるため、ここでは、

$$B_k(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} \sum_{j=1}^n c_j x_{klj} \leq (1 + \delta_k) b_k, k = 1, 2, \dots, p$$

$$B_k(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} \sum_{j=1}^n c_j x_{klj} \geq (1 - \gamma_k) b_k, k = 1, 2, \dots, p$$

のような二つの不等式に緩和する。ここで、 δ_k と γ_k はそれぞれ得意先 k の総割付料金の予算に対する許容誤差（通常は 0.01 程度）を表すものとする。

(C2) 放送素材毎に各放送枠に対する割付の可否が決められている。

$$x_{klj} \leq s_{klj}, k = 1, 2, \dots, p, l = 1, 2, \dots, q_k, \\ i = 1, 2, \dots, r_{kl}, j = 1, 2, \dots, n$$

ただし、 s_{klj} は得意先 k の商品 l の放送素材 i が広告枠 j に割付可能なら 1、不可能なら 0 の値をとる。

(C3) 各放送枠に対して必ず放送素材が割り付けられなければならない。

$$\sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} x_{klj} = 1, j = 1, 2, \dots, n$$

以上の (C1) ~ (C3) を満たす 0-1 変数 x_{klj} , $k = 1, 2, \dots, p, l = 1, 2, \dots, q_k, i = 1, 2, \dots, r_{kl}, j = 1, 2, \dots, n$ の組が実行可能（実現可能）な割付を表すことになる。すなわち、次の式

$$B_k(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} \sum_{j=1}^n c_j x_{klj} \leq (1 + \delta_k) b_k, k = 1, 2, \dots, p$$

$$B_k(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} \sum_{j=1}^n c_j x_{klj} \geq (1 - \gamma_k) b_k, k = 1, 2, \dots, p$$

$$x_{klj} \leq s_{klj}, k = 1, 2, \dots, p, l = 1, 2, \dots, q_k, \\ i = 1, 2, \dots, r_{kl}, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} x_{klj} = 1, j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{klj} \in \{0, 1\}, k = 1, 2, \dots, p, l = 1, 2, \dots, q_k, \\ i = 1, 2, \dots, r_{kl}, j = 1, 2, \dots, n$$

が本研究で対象とする放送枠割付最適化問題の制約条件であり、これらの式を満たす 0-1 変数ベクトル $\mathbf{x} = (x_{klj})$ が実行可能解（制約を満たす割付）を表す。以下では、すべての実行可能解の集合である実行可能領域（制約領域）を X で表す。

C. 目的関数（評価関数）

目的関数は最適化問題における目的の達成度を表す関数であり、各割付に対する評価値を与える。本研究では、各得意先担当者が担当する得意先の獲得レスポンス数（広告効果）を最大化するように動機づけられているという仮定から、次のような獲得レスポンス数 $R_k(\mathbf{x})$ の最大化が各得意先で求められるものとする。

$$R_k(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} \sum_{j=1}^n v_{klj} x_{klj}, k = 1, 2, \dots, p$$

ここで、 v_{klj} は得意先 k の商品 l の放送素材 i を放送枠 j に割り付けた場合の予想獲得レスポンス数である。

D. 放送枠割付最適化問題

各得意先 $k, k = 1, 2, \dots, p$ について、個別に、その予算内で獲得レスポンス数 $R_k(\mathbf{x})$ を最大化する放送枠の割付は、次の問題の最適解として得られる。

個別放送枠割付最適化問題

$$\text{maximize } R_k(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{q_k} \sum_{i=1}^{r_{kl}} \sum_{j=1}^n v_{klj} x_{klj}$$

subject to $\mathbf{x} \in X$

各得意先 $k, k = 1, 2, \dots, p$ について上の問題を解いて得られた最適解に対する獲得レスポンス数を R_k^* とすると、ある得意先と別の得意先の予想獲得レスポンス数 v_{klj} と $v_{k'l'ij}$ 間には一般に正の相関があるため、 $R_k(\mathbf{x})$ と $R_{k'}(\mathbf{x})$ は相競合し、同時に R_k^* と $R_{k'}^*$ を獲得できる放送枠の割付けは、通常は存在しない。そこで、何らかの最適化基準に基づいた得意先の目的関数の統合による総合的な最適化が望まれる。杉浦ら[1]は 6 種類の目的関数を導入しているが、本研究では、この中の 2 種類に絞って考察する。

○正規化獲得レスポンス数最大化

正規化獲得レスポンス数 $R_k(\mathbf{x}) / R_k^*$ の総和の最大化を目指す。

$$\text{maximize } F_1(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^P R_k(\mathbf{x}) / R_k^*$$

subject to $\mathbf{x} \in X$

最も基本的な統合であり、総合的な正規化獲得レスポンス数最大化という観点からは合理的であると考えられる。しかし、得意先の正規化獲得レスポンス数に大きな差がある場合、正規化獲得レスポンス数が大きい得意先が優先的に最適化される一方、そうでない得意先が無視されやすく、全体として偏った最適化となる場合もあるという問題点がある。また、この問題は線形 0-1 計画問題であるので、分枝限定法などにより、比較的容易に厳密に解くことができる。

○最小正規化獲得レスポンス数最大化

正規化獲得レスポンス数 $R_k(\mathbf{x}) / R_k^*$ の最小値の最大化を目指す。

$$\text{maximize } F_2(\mathbf{x}) = \min \{ R_1(\mathbf{x}) / R_1^*, \dots, R_p(\mathbf{x}) / R_p^* \}$$

subject to $\mathbf{x} \in X$

得意先の中で最小の正規化獲得レスポンス数をもつ得意先の正規化獲得レスポンス数をできるだけ大きくしようというもので、最も公平性を重視した統合である。ただし、正規化獲得レスポンス数に大きな差がある場合、正規化獲得レスポンス数（正規化粋力）が小さい得意先に最適解が大きく依存するという問題点がある。また、この問題は等価な線形混合 0-1 計画問題に帰着されるので、分枝限定法などにより、比較的容易に厳密に解くことができる。

III. 対話型意思決定

前節で定義したような複数存在する得意先の獲得レスポンス数を総合的に評価するための統合関数にはそれぞれ前節で述べたような特徴がある。一般に、意思決定者（この場合は割付担当者）の選好がこれらの統合関数で十分表現されるとは限らないとともにその選好が大域的に陽に与えられるとは限らないため、これらの統合関数の中の一つ、あるいは、複数の統合関数を組み合わせた関数を目的関数とする最適化問題を一度だけ解いて意思決定者（割付担当者）が満足するような解を導出することは困難と考えられる。そこで、杉浦ら[1]は、意思決定者との対話を繰り返すことによって、局所的な選好情報を引き出しながら、最終的に意思決定者が満足できる解（満足解）を求める次のような対話型意思決定手法を提案している。

杉浦ら[1]は、次のような変形ミニマックス問題[2]を解くことにより、意思決定者が主観的に設定した希求水準にミニマックスの意味で最も近い解を得ている。

$$\begin{aligned} &\text{minimize } z \\ &\text{subject to } (F_u^a - F_u(\mathbf{x})) / F_u^* \leq \beta_u z, u = 1, 2 \\ &\mathbf{x} \in X \end{aligned}$$

ここで、 F_u^a は目的関数 $F_u(\mathbf{x})$ に対する希求水準、 F_u^* は目的関数 $F_u(\mathbf{x})$ の個別の最大値、 $\beta_u \in [0, 1]$ は $F_u(\mathbf{x}) \geq F_u^a$ の目標としての程度を表すパラメータで、1 ならば完全な目標であり、0 ならば完全な制約となる[2]。このとき、意思決定者との対話を通して、希求水準 $F_u^a, u = 1, 2$ とパラメータ $\beta_u, u = 1, 2$ を修正しながら、意思決定者が満足できる解を導出するという対話型意思決定アルゴリズムは次のようにまとめられる。

[対話型意思決定アルゴリズム]

■手順 1

各目的関数の個別の最大値 $F_u^*, u = 1, 2$ を求める。

■手順 2

手順 1 で求めた各目的関数の個別の最大値もしくは最小値 F_u^* を参考にして、各目的関数に対する希求水準 $F_u^a, u = 1, 2$ を設定する（初期設定が困難な場合は理想点 $\mathbf{F}^* = (F_1^*, F_2^*)$ を用いる）。さらに、パラメータ $\beta_u, u = 1, 2$ を設定する（初期設定が困難な場合は $\beta = (1, 1)$ とする）。

■手順 3

設定された希求水準 $F_u^a, u = 1, 2$ とパラメータ $\beta_u, u = 1, 2$ に対する変形ミニマックス問題を解く。

■手順 4

得られた解に満足するかどうかを意思決定者に尋ねる。意思決定者が満足ならば、満足解を得て対話を終了する。そうでなければ、希求水準 $F_u^a, u = 1, 2$ またはパラメータ $\beta_u, u = 1, 2$ を更新して手順 3 へ戻る。

上記の対話意思決定アルゴリズムにおける希求水準の更新において、目的関数間のトレードオフのために、ある目的関数の改善のためには他の目的関数を犠牲にせざるを得ないという状況が発生することに注意しよう。また、残念ながら、上記の方法を実装し、実際の問題に適用することによる動作確認および有効性の検討はなされていない。そこで、本研究では、上で述べた杉浦ら[1]の対話型意思決定手法を Excel VBA を用いて実装し、簡単な数値例を用いた動作確認を行う。

IV. 対話シミュレーション

本研究では、杉浦ら[1]の対話型意思決定手法の有効性の検討を目的として、Excel VBA を用いて実装し、簡単な数値例に対する適用を行った。Excel VBA を用いた理由は、データが Excel ファイルとして与えられることや現場での試用・開発の際に特別な環境が不要であることなどがあげられる。

ここでは、得意先が 3、各得意先の商品数が 1、各得意先の商品に対する放送素材数が 1、放送枠数が 10 であるときの放送枠割付問題を考える。表 1 に各パラメータを示す。また、予算の許容誤差 δ および γ はともに 0.1 としている。

表 1 問題のパラメータの値

放送枠番号	料金	獲得レスポンス数		
		放送素材 1 (得意先 1 の商品)	放送素材 2 (得意先 2 の商品)	放送素材 3 (得意先 3 の商品)
1	10	10	25	10
2	10	15	20	20
3	10	20	15	15
4	10	25	10	25
5	15	30	35	40
6	15	40	40	45
7	15	50	45	50
8	20	60	70	85
9	20	80	80	90
10	20	100	90	95
予算		50	50	50

まず、目的関数の正規化のために、個別放送枠割付最適化問題を解く。この問題は、線形 0-1 計画問題であるので、Excel VBA の中でフリーソフト lp_solve [3] を動作させて解いており、 $R_1^* = 230, R_2^* = 215, R_3^* = 235$ という結果を得る。

次に、対話型意思決定アルゴリズムの手順 1 にしたがって、正規化獲得レスポンス数最大化問題および最小正規化獲得レスポンス数最大化問題を解く。正規化獲得レスポンス数最大化問題は線形 0-1 計画問題であり、最小正規化獲得レスポンス数最大化問題は線形混合 0-1 計画問題に帰着されるので、これらについても lp_solve [3] により求解を行っている。正規化獲得レスポンス数最大化問題を解いた結果、 $F_1^* = 2.148$ が得られた（ここで、 $R_1(x^*) = 170, R_2(x^*) = 120, R_3(x^*) = 200, R_1(x^*)/R_1^* = 0.739, R_2(x^*)/R_2^* = 0.558, R_3(x^*)/R_3^* = 0.851$ ）。一方、最小正規化獲得レスポンス数最大化問題を解いた結果、 $F_2^* = 0.696$ が得られた（ここで、 $R_1(x^*) = 160, R_2(x^*) = 150, R_3(x^*) = 170, R_1(x^*)/R_1^* = 0.696, R_2(x^*)/R_2^* = 0.698, R_3(x^*)/R_3^* = 0.723$ ）。また、手順 2 にしたがって、希求水準 $F_1^a = 2.148, F_2^a = 0.696$ に設定するとともに、パラメータ $\beta_1 = \beta_2 = 1$ と設定する。

その後、手順 3 にしたがって、変形ミニマックス問題を解く。この問題も線形混合 0-1 計画問題に帰着されるので、lp_solve [3] により求解を行う。その結果、 $F_1^{(1)} = 2.117, F_2^{(1)} = 0.696$ が得られた（最小正規化獲得レスポンス数最大化問題を解いた結果と同じである）。

手順 4 にしたがって、この結果を仮想的な意思決定者に提示したところ、この解に満足せず、最小正規化獲得レスポンス数を 0.68 程度まで譲歩しても正規化獲得レスポンス数之和の改善を図りたいと考えて、希求水準 $F_2^a = 0.680$ に更新した（ $F_1^a = 2.148, \beta_1 = \beta_2 = 1$ ）。

そこで、手順 3 に戻って、現在の希求水準とパラメータに対する変形ミニマックス問題を解く。その結果、 $F_1^{(2)} = 2.137, F_2^{(2)} = 0.674$ が得られた（ここで、 $R_1^{(2)} = 170, R_2^{(2)} = 145, R_3^{(2)} = 170, R_1^{(2)}/R_1^* = 0.739, R_2^{(2)}/R_2^* = 0.674, R_3^{(2)}/R_3^* = 0.723$ ）。手順 4 にしたがって、この結果を仮想的な意思決定者に提示したところ、この解に満足せず、最小正規化獲得レスポンス数をできるだけ 0.68 以上にしたいと考えて、より制約としての度合いを高めるために、パラメータ $\beta_2 = 0.6$ に更新した（ $F_1^a = 2.148, F_2^a = 0.680, \beta_1 = 1$ ）。

再度、手順 3 に戻って、現在の希求水準とパラメータに対する変形ミニマックス問題を解く。その結果、 $F_1^{(3)} = 2.121, F_2^{(3)} = 0.681$ が得られた（ここで、 $R_1^{(3)} = 160, R_2^{(3)} = 160, R_3^{(3)} = 160, R_1^{(3)}/R_1^* = 0.696, R_2^{(3)}/R_2^* = 0.744, R_3^{(3)}/R_3^* = 0.681$ ）。手順 4 にしたがって、この結果を仮想的な意思決定者に提示したところ、この解に満足したため、満足解を得て対話は終了となった。

このように、杉浦ら[1]の対話型意思決定手法に基づいて、意思決定者との対話を通して、複数存在する得意先の広告効果のバランスを考慮した解（割付）が得られることが確認された。

V. おわりに

本研究では、広告代理店が取り扱う多数の広告用放送枠に対して、得意先（広告主）の商品広告のための多種の広告用放送素材を割り付ける問題に注目した。特に、杉浦ら[1]の対話型意思決定アプローチに焦点をあて、杉浦ら[1]の方法を Excel VBA を用いて実装し、簡単な数値例を用いた動作確認を行った。今後はより現実的な問題への適用を行うとともに対話において意思決定者に提示すべき情報および提示方法についても検討する予定である。

参考文献

- [1] 杉浦登, 加藤浩介, 片桐英樹, 「広告枠への商品割付け最適化に対する対話型多基準意思決定(マーケティング)」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 18-19, 2010.
- [2] 中山弘隆, 谷野哲三, 「多目的計画法の理論と応用」, コロナ社, 1994.
- [3] <http://lpsolve.sourceforge.net/5.0/>

問い合わせ先

〒731-5193

広島市佐伯区三宅 2 丁目 1 番 1 号

広島工業大学情報学部情報工学科

小林 亮太