

立ち寄り行動を考慮した最適施設配置

Optimal location of facilities considering on the way behavior

56153 中島崇晴

This paper focuses on a facility location model, considering “on the way” behavior. In urban life, we often use daily services along commuting to the nearby station, but in this case, we cannot apply traditional optimal location models. Here, we built a model that emphasizes realistic urban structure and consumer behaviors, presumes stochastic facility selection, and combines “on the way” demand and “nearest neighbor” demand. Then the optimal location problem was solved in several examples, including total optimum problem and competition model, and the difference between models were observed. Finally, it is shown that this model can be applied to a simple network surface.

1. はじめに

1.1 研究の背景

我々は日々の生活で利用する商業施設や公共施設等が都市内のどこに立地するかという問題は、利用者の利便性と施設側の売上や効率性に多大な影響を及ぼす。特に商業施設にとっては、いかに効率的に施設を立地し顧客を獲得するかというのは、小売業の競争が激しくなっているということもあり、非常に重要な要素となってきた。

このような重要性から、最適施設配置問題や競争立地問題に関しては数多の研究がなされている。しかし、これらの多くは最近隣施設利用、つまり各利用者は自宅等から最も近い施設を利用する、という仮定に基づいている。また、チェーン店の商圈分析をコンピューター上で行う際も、消費者の最近隣施設利用行動を仮定している場合がほとんどである。

ここで、我々の日常における施設選択について考えてみる。例えば、自宅の最寄り駅から徒歩で帰宅する際に、コンビニエンスストアに寄って買い物をする場合を想定する。この場合、自宅から 100 メートルの地点に A 店、自宅から 200 メートルの地点に B 店が立地していたとする。前述の最近隣施設利用を仮定すると、施設を利用する際の往復の距離がより短くて済む A 店が利用されることになるが、図 1 のような空間構造を仮定すると、実際は迂回する必要のない B 店が利用されることになるだろう。

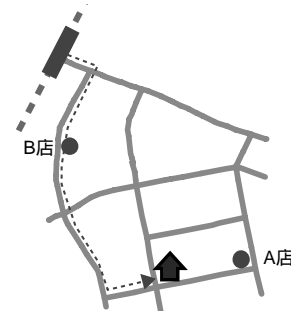


図 1. 最近隣施設利用の仮定が不適切な場合

つまり、既存の最近隣施設利用を仮定したモデルでは、利用者の具体的な行動を十分把握しているとは言えないのである。この例における利用者の店舗選択行動にとって重要なのは、施設が最寄りであるということではなく、移動経路上に施設があるかどうか、或いは移動経路から施設が近いかどうか、という点なのである。近年、特に都市部においては、このような「立ち寄り買い」が多忙な都会人に特有の消費スタイルとして注目されている。

こうしたことから、従来のように最近隣施設の利用を仮定しない、より詳細で現実的な消費者行動を適用可能なマーケティング手法の必要性が高まってきていると言えよう。また、都市内での立ち寄り行動は原則として道路上での事象である。近年、GISの発達により、都市空間をネットワークとして捉えることが容易になってきているという点も、1つの技術的背景としてあげられる。

1.2 研究の目的

立ち寄り行動を想定した上で施設配置を検討している研究は、鈴木(2002)、徳永(2004)などいくつか存在する。これらを踏まえた上で本研究では、エリアマーケティング等への実用化を念頭に、立ち寄り行動モデルの拡張を行い、現実空間へ適用可能な最適施設配置手法の基礎を形作することを目的とする。

具体的には、(1)日常生活圏を念頭に立ち寄り需要分布を現実的に設定、(2)立ち寄り行動における施設利用を確率的に捉える、(3)最近隣施設利用と立ち寄り施設利用の混合を考える、といった点を重視する。

2. モデル構築

2.1 最適施設配置問題の定式化

まず、線分領域 $[0, L]$ を都市空間として考え、中央 $L/2$ に鉄道駅が配置されているとする。また、線分領域上に左側から施設1 $(x_1, 0)$ 、施設2 $(x_2, 0)$ 、...、施設 $n(x_n, 0)$ と任意の位置に立地可能とする。これらの施設は、原則として内容に差がなく、施設ごとの効用(魅力度)に優劣はないものとする。

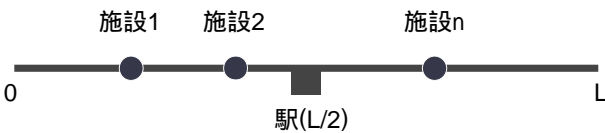


図2. 線分上の都市空間

次に、利用者行動と需要分布について考える。本研究では、人の施設利用行動を確率的に捉え、「最近隣施設利用」と「立ち寄り施設利用」双方を確率モデルで定式化する。

最近隣施設利用とは、利用者の施設への配分を最も近い施設に帰属させるということであり、ここではさらに施設から離れるほど利用が単調減少するという仮定し、線形関数を用いて表す。まず、線分領域上に最近隣施設利用を行う居住者が需要密度分布 $P_R(x)$ で存在し、確率 p_1 で施設を利用すると考える。そして施設から離れるほど利用者は単調に減少し、距離 r_R (= 商圈) で利用が0になるとする。すると、施設 k の獲得利用者密度は、 $x_k - r_R \leq x \leq x_k + r_R$ で

$$Q_R(x) = p_1 P_R(x) \frac{r_R - |x - x_k|}{r_R} \quad (1)$$

となる。本研究では居住者密度分布は線分領域上で一様、つまり $P_R(x) = c_R$ であるとする。この仮定の下で、施設が獲得する需要量を高さで表すと、次の図3のようになる。また、2施設が近接している場合は、それぞれの需要獲得エリアが重なる地点が商圈の端になると考える(図4)。

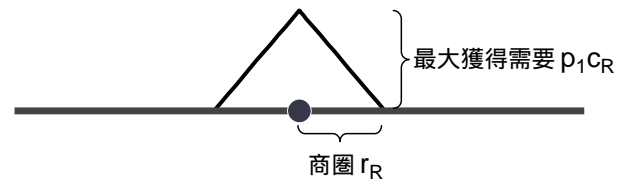


図3. 最近隣施設利用需要の獲得量

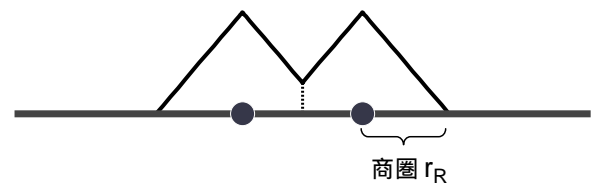


図4. 最近隣施設利用需要の獲得量：2施設近接の場合

2番目に、立ち寄り施設利用モデルを構築する。本研究では、1つの駅勢力圏程度を領域として扱うので、領域内に分布している通勤者等が駅に向かうというフローを考える(図5)。

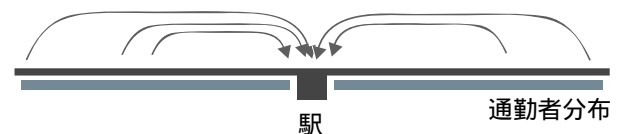


図5. 領域内のフローの構造

このようなフローの途中で施設を利用する、という行動が立ち寄り施設利用である。まず、線分領域上に立ち寄り施設利用を行う居住者(通勤者)が需要密度分布 $P_A(x)$ で存在し、確率 p_2 で施設に立ち寄ると考える。立ち寄り施設利用の場合、施設までの距離に関わらず立ち寄るための労力は等しいので、居住地と利用数は無関係である。つまり、施設 k の獲得利用者密度は、

$$Q_A(x) = p_2 P_A(x) \quad (2)$$

である．ここで，同様に通勤者密度分布は線分領域上で一様，つまり $P_A(x) = c_A$ であるとする，施設が獲得する需要量は，次の図 6 のようになる．



図 6. 立ち寄り施設利用需要の獲得量

次に，複数施設に立ち寄り可能な場合を，介在機会モデルを用いて確率的に定式化する．ある施設利用者が駅まで行く途中で施設を利用する回数は高々 1 回であるとする．この時， $0 \leq x \leq x_1$ で施設 1 に立ち寄る人は，式(2)の通りであるから，立ち寄りなかった人は， $(1-p_2)c_A$ である．これらの人が確率 p_2 で施設 2 に立ち寄り可能な場合があるので，施設 2 の獲得利用者密度は $0 \leq x \leq x_1$ では，

$$Q_{2A}(x) = (1-p_2)p_2c_A \quad (3)$$

となる．すると，各施設が獲得する立ち寄り需要量は，次の図 7 のようになる．

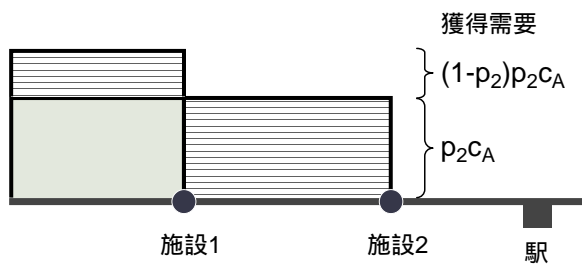


図 7. 立ち寄り施設利用需要の獲得量：2 施設の場合

このように施設数が増えていった場合は，獲得需要量が累積的に積み重なることになるのである．

次に，立ち寄り施設利用に遠回り行動モデルを組み込む．図 6 では施設 k のすぐ右側の通勤者の施設利用が 0 であるが，現実には遠回りしてでも利用する人はいるであろう．そこで，立ち寄るための遠回り距離が増加するほど，立ち寄り可能性が減少する，と定義し，遠回り距離 $2r_A$ で利用が 0 になるとする．

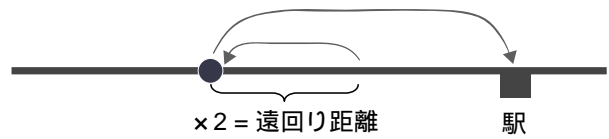


図 8. 遠回り行動と遠回り距離

これを定式化すると，遠回り利用分，つまり $x_k \leq x \leq x_k + r_A$ のときの獲得利用者密度は，

$$Q_A(x) = p_2c_A \frac{r_A - |x - x_k|}{r_A} \quad (4)$$

となる．対象施設が駅 ($L/2, 0$) に近接しているかどうかで場合分けして同様に図示する．

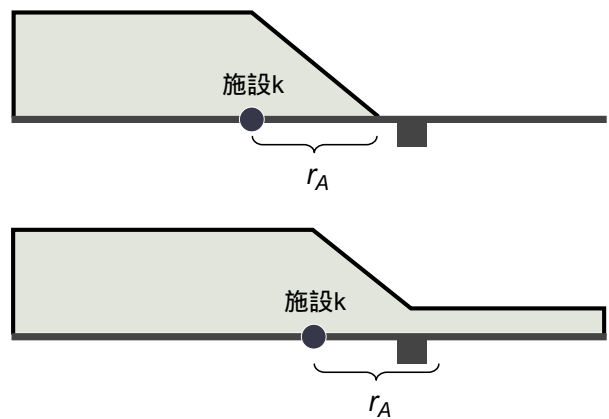


図 9. 遠回り利用も含む立ち寄り施設利用需要の獲得量

図 9 下のように対象施設と駅との距離が r_A 以下であれば，駅の反対側の通勤者も対象施設に立ち寄ることが出来る．その場合，どれだけ駅から離れた地点に居住している通勤者でも遠回り距離は変わらないため，施設が駅の反対側から獲得できる需要量は一定となるのである．

また，2 施設が立地している場合の立ち寄り需要量は，前例のように定式化すると図 10 のようになる．

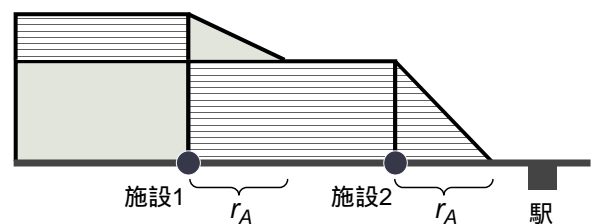


図 10. 遠回り利用も含む獲得需要量：2 施設の場合

さらに、これまでに定義してきた「最近隣施設利用」と「立ち寄り施設利用」の混合を考える。双方が合わさって総需要となる、この理論は生活時間帯による店舗利用パターンの違いを考えると分かりやすい。例えば、業務地にコンビニエンスストアが立地しているとすると、まず朝の時間帯は、駅からオフィスへというフローがあり、その途中で立ち寄り利用が行われる。次に、昼の時間帯は、昼食を買いに行くなどの最近隣施設利用が行われる。また、夕方時間帯では、オフィスから駅へというフローがあるので、その途中での立ち寄り利用も行われる。よって、施設 k の合算獲得需要密度は、

$$Q_k(x) = Q_{kR}(x) + Q_{kA}(x) \quad (5)$$

となる。

2.2 最適化手法

本研究では、立地最適化問題として「総売上最大化問題」と「競争立地問題」の両方を扱う。前者は、例えば対象地域に同一チェーンが複数の店舗を立地させる場合の最適配置を求めるものであり、後者は、同業種の複数の施設が独立して立地している場合の均衡配置状態を導くものである。

まず、前者の場合は、領域内全体の獲得需要量 Q を求め、これが最大となるように立地を最適化すればよい。よって、

$$Q = \sum_{k=1}^n \left(\int Q_{kR}(x) dx + \int Q_{kA}(x) dx \right) \quad (6)$$

とし、

$$\frac{\partial Q}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial Q}{\partial x_2} = 0, \dots, \frac{\partial Q}{\partial x_n} = 0 \quad (7)$$

の連立方程式を解けば、最適配置が求まる。また、後者の場合は、獲得需要量を合算せずに Q_k をそのまま各座標で偏微分する。

3. 線分都市空間での最適配置：総売上最大化

3.1 最適配置結果

まず、遠回り行動を考慮しない基本モデルにて 2 施設が駅の両側に配置されている場合を考える。すると、最適座標値が求まり、施設間の相対的な距離

が以下のように確定する。

$$x_2 - x_1 = 2r_R - \frac{2p_2c_Ar_R}{p_1c_R} \quad (8)$$

これより、立ち寄り需要と近隣需要の比率によって施設間の距離が定まり、立ち寄り施設利用が多くなるほど施設間の距離は縮まるということが分かる。ここで、 $c_R = 2.0, c_A = 1.0, p_1 = 0.5, p_2 = 0.5, r_R = 3.0, r_A = 3.0, L = 20.0$ の具体的な数値を代入すると、最適配置結果は以下ようになる。

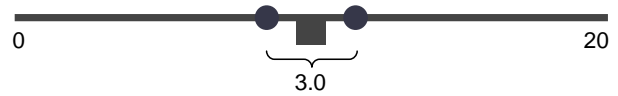


図 11.2 施設の最適配置：基本モデル

以下、3 施設以上の場合も同様に最適配置を求めることが出来、さらに施設数が n の場合の最適配置の一般形も算出可能である。

次に、遠回り行動モデルにおける最適配置を求める。ここでは以下のように需要獲得エリアの重なり合いに注意しながら領域を分割し、獲得需要量を計算する。

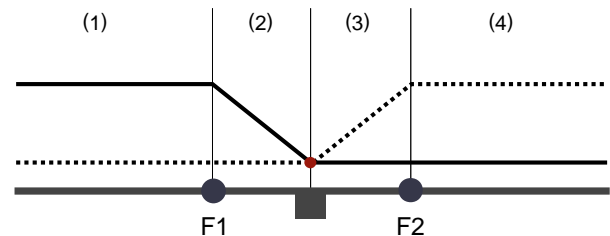


図 12. 遠回り行動モデルの獲得需要量：2 施設対称配置

これより同様に最適座標値が求まり、上記の数値を代入すると、最適配置結果は以下ようになる。

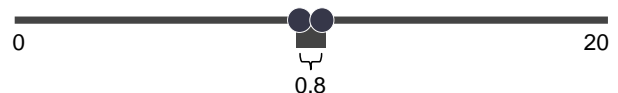


図 13.2 施設の最適配置：遠回り行動モデル

3.2 結果の考察・比較

ここで、両モデルの最適配置結果をまとめる。

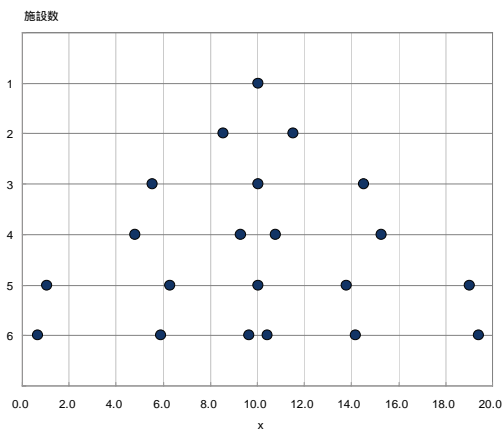


図 14. 基本モデルにおける最適配置結果

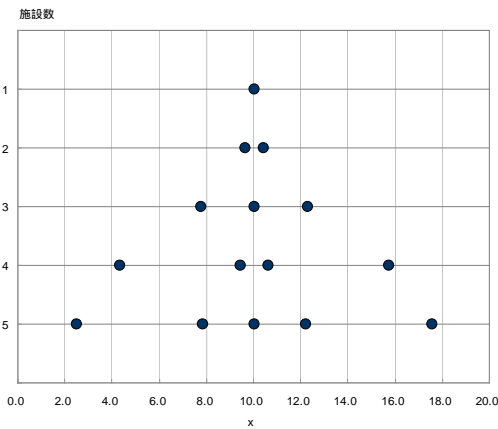


図 15. 遠回り行動モデルにおける最適配置結果

まず図 14 を見ると、合計施設数が増加すると、中央の 2 施設間の距離が短くなるのが分かる。また、施設数が多い場合では、中央の駅に近づくほど施設間の距離が縮まっていることも見て取れる。現実の街でも駅など人の移動の起終点に商業施設などが集中していることは多く、この結果は立ち寄り需要が施設配置に与える影響の大きさを示しているとも言える。次に両モデルを比較すると、遠回り行動を考慮した方が、最適配置結果は中央に集中する傾向があることが分かる。これはすなわち、遠回り客が多いような吸引力の高い施設は、駅近くに立地した方が適している、ということを示唆している。

4. 線分都市空間での最適配置：競争立地

4.1 最適配置結果：自由競争

まずは、同様に 2 施設が立地する場合を考え、最

適化を行うと、最適座標値が求まり、施設間の相対的な距離は以下のように確定する。

$$x_2 - x_1 = 2r_R - \frac{4p_2c_A r_R}{p_1c_R} \quad (9)$$

これと式(8)を比べると、競争立地の方が施設間の距離の縮まり具合が 2 倍になっていることが分かる。これは、競争によって、施設はより多くの立ち寄り客を獲得するために動くということを示している。

表 1. 問題種別での獲得需要量比較：2 施設の場合

総売上最大化				競争立地			
x_1	7.8	Q_1	9.7	x_1	8.5	Q_1	9.5
x_2	12.3	Q_2	9.7	x_2	11.5	Q_2	9.5
		$\sum Q$	19.4			$\sum Q$	19.0

この例の獲得需要量を比較すると、合計の獲得需要量は競争立地の方が少なくなっている。これは、自由競争は各施設の利益を減少させてしまうので、最大の利益のためには施設間の協調が必要になるとのことを示している。

以下、3 施設以上の場合も最適立地を求めることが出来、さらに遠回り行動を考慮した場合の最適立地も同様に算出可能である。

4.2 最適配置結果：チェーン間競争モデル

次に、複数のチェーンがそれぞれ複数の施設を立地させて競争しているという状況を考える。ここでは、2 チェーンがそれぞれ 2 施設ずつ線分領域に立地させているという例を考え、遠回り行動を考慮した上で最適立地状況を把握する。

チェーン間の競争状態を扱うには、各チェーンの配置パターンが重要になってくる。2 チェーンの場合は、以下の 3 パターンが考えられる。

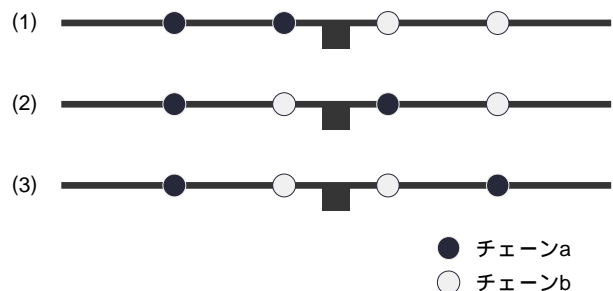


図 16.2 チェーン 4 施設の配置パターン

これらは商業施設の立地パターンとしても一定の意味を持たせることが出来る。(1)は駅の片側を単一チェーンが占めるドミナント戦略を表していると言える。(2)は、店舗が交互に立地している状態で、混合状態での競争と言える。(3)はチェーン a と b で立地戦略が異なる状況を表している。これらのパターンを初期配置とし、競争立地モデルによる最適化を行うと、以下のような最適立地結果となる。

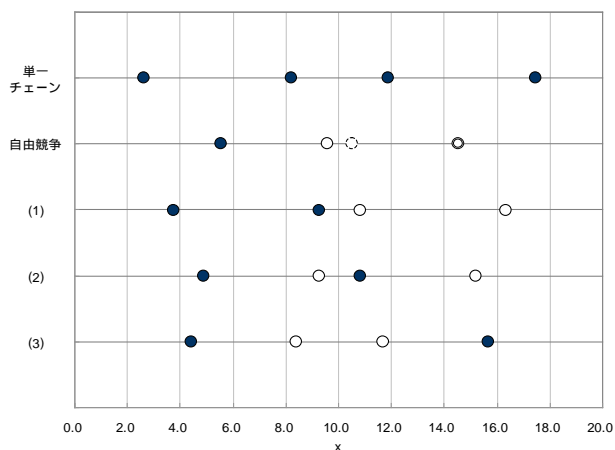


図 17. チェーン間競争立地における最適立地結果の比較

まず、施設分布全体の幅を見ると、一番幅が広いのは単一チェーンの場合で、次にチェーン間競争、そして一番幅が狭いのが自由競争の場合である。よって、2 施設同士のチェーン間競争による立地位置は、競争がない場合と自由競争の場合の間になるのである。次に配置パターン別に見ると、(2)が中央への集中度が最も高いことが分かる。これより、ライバル同士が交互に立地しているような激しい競争状態は、施設の集積を促すことが推察される。

5. 2次元ネットワーク都市空間での最適配置

最後に、これまでの最適配置モデルの応用として、図 18 のような単純な十字型のネットワーク都市空間での最適配置を行う。

これはネットワーク空間なので、利用者行動や需要分布に関しても 1次元の場合とほぼ同様に扱うことが可能である。ここではそれぞれの「枝」に 1施設ずつ配置される場合を、総売上最大化問題にて最適化する。

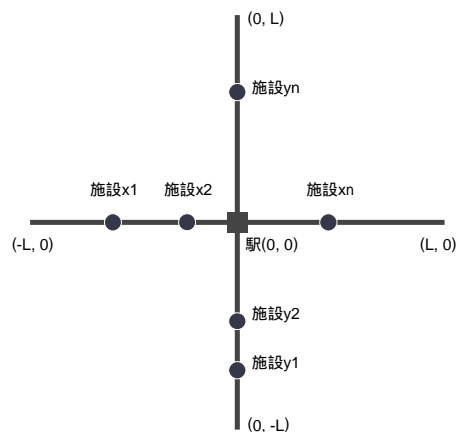


図 18. 2次元ネットワークの都市空間

すると、次式のように点対称形の固定された最適座標値が求まる。

$$\begin{aligned} x_1 &= r_R \left(\frac{c_A p_2}{c_R p_1} - 1 \right) & x_2 &= r_R \left(-\frac{c_A p_2}{c_R p_1} + 1 \right) \\ y_1 &= r_R \left(\frac{c_A p_2}{c_R p_1} - 1 \right) & y_2 &= r_R \left(-\frac{c_A p_2}{c_R p_1} + 1 \right) \end{aligned} \quad (10)$$

この場合の施設間の距離は式(8)と等しくなっており、1次元で構築したモデルの汎用性を示すことが出来たといえよう。

6. おわりに

本研究では、立ち寄り行動を考慮した場合の最適施設配置を行うためのモデルを構築し、仮想的な都市空間における最適配置の結果を導いた。我々の日常生活圏を想定し、現実的な都市構造と人の施設選択行動に基づいたモデルを組み入れた点が従来にはない特徴であり、本研究で新たに提示したモデルと、それによる旧来とは異なる施設配置結果は、エリアマーケティングの研究等にとっても有意義ではないかと考えられる。

主要参考文献

- 鈴木勉(2002)『フロー需要に基づく施設配置モデルと需要構成が施設配置に与える影響』, 都市計画論文集, 37, 115-120.
- 福本創一郎・栗田治(2003)『立ち寄り行動を考慮した介入機会型の施設配置問題』, 2003年日本OR学会春季研究発表会アブストラクト集, 58-59.