成約賃料の分散比最大化に基づく オフィスビルのグレード分類手法に関する研究

A GRADING METHOD FOR OFFICE BUILDINGS BASED ON THE MAXIMIZATION OF VARIANCE RATIO OF CONTRACTED RENTS

瀧澤 重志*, 池上 純代**, 加藤 直樹***

Atsushi TAKIZAWA, Sumiyo IKEGAMI and Naoki KATOH

Some companies related to real estate grade office buildings by their spec and use it for the analysis of office building markets segmented by the grade. However, the standard of the grading is decided subjectively and varies by the companies. In this paper we propose the quantitative method for deciding the grade. We statistically evaluate the variance of contracted rents between grades with variance ratio and maximize it by optimizing the threshold of building attributes using mixed integer linear programming. Through the validation with the data of Tokyo 23 wards, we show the proposed method can grade office buildings with higher variance ratio than existing standards.

Keywords: office building, grading, contracted rent, variance ratio, fractional programming, mixed integer linear programming

オフィスビル, グレード分類, 成約賃料, 分散比, 分数計画, 混合整数計画

1. はじめに

オフィスビルは、立地、規模、建築・設備内容、賃料などが多様なため、それらの市場を平均値だけで推し量することは難しく、物件の規模等の条件でセグメント化して分析する必要があると指摘されている¹⁾。こうしたセグメントの例としていくつかの不動産関連会社は、ビルのスペックに基づくグレードによってオフィスビルをランク付けしている。表1は日本の代表的なオフィスビルのグレード分類基準の例である²⁻⁶⁾。各社それぞれ基準が異なっているが、比較的共通して取り上げられている項目として、対象エリア、延床面積、基準階床面積と築年数があるが、その数値はまちまちである。一方、建物高さ、竣工年設備に関する要素は、それらを加味している会社もあればそうでない会社もある。加えてグレードの数も一様ではなく、2分類から4分類のところまである。これらの基準は面積なら広いほうがよいとか、築年数は浅いほうがよいといったような閾値の単調性がみられる。

諸外国でも日本同様、不動産仲介会社は独自の基準でオフィスのクラス分けを行い、マーケットの動きなどを紹介するレポートを作成している。例えば米国のオフィスビルオーナーなどの集まりであるBOMA (Building Owners Management Association) は、都市部におけるオフィスのグレードを上位から A, B, C の3クラスを設定し、それぞれのクラスの大まかな定義付けをおこなっている⁷⁾。米国の基準の場合は、賃料水準の大小がグレード分類の基準として考慮されている点、日本の基準とは異なっている。

以上のように、オフィスビルのグレード分類基準は各社各様であり、どのビルが A グレードでどのビルが B グレードなのかの判断には、感覚的・主観的な部分が多々ある。ちなみに物件を格付けする仕組みとして、欧米のホテルでは、星による格付け (Star Rates) が一般に用いられている。Star Rates は宿泊客がホテルを選ぶ際の判断基準として利用されるという明確な目的がある。それに対してオフィスビルの場合は、最初に述べたように、市場を分析する際に物件集合を分類することが主な目的のため、ホテルと比較して明確な基準を定めるににくいことも一因としてあると思われる。

以上の背景から本研究では、これまで主観的になされてきたオフィスビルのグレード分類を定量的に行う手法を構築することを目的とする。具体的にはセグメントを行う目的である成約賃料を目的変数として、そのグレード間のばらつきを統計学の分散分析で用いられる分散比で評価し、それを最大化する各属性の閾値を数理計画法によって最適化する方法を提案し、東京23区内に立地するオフィスビルのデータを用いて検証を行う。米国基準では、賃料水準は例えば「卓越した賃料」「平均程度」「平均よりも低い」といった言葉で分類基準に組み込まれている。これは賃料の大小でグレードをコントロールできる反面、その値の根拠が不明である。不動産の賃料の分布は一般に正規分布ではなく対数正規分布に近く偏りがあるため、平均を分類の基準にすることは、必ずしも市場のセグメントに対応するとは限らない。加えて、賃料とビル属性の間には、属性によって賃料が決定するとい

* 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 准教授・博士(工学)

** 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 修士課程

*** 関西学院大学理工学部情報科学科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Urban Eng., Grad. Sch. of Eng., Osaka City Univ., Dr.Eng.
Grad. Stud., Dept. of Arch. and Architectural Eng., Grad. Sch. of Eng., Kyoto Univ.
Prof., Dept. of Informatics, Sch. of Science and Technology, Kwansei Gakuin Univ., Dr.Eng.

表 1 主な日本の不動産サービス関連会社によるオフィスビルのグレード分類基準^{2*)}

	企業 1	企業 2	企業 3	企業 4	企業 5
グレード	A	A	A B	A B	A A- B
対象エリア	都心 5 区主要 オフィス街 および 周辺 区オフィスビ ル集積地域	---	東京都心 5 区 ---	東京都心 5 区 東京都心 5 区	主要 5 区 東京 23 区内 東京 23 区内
延床面積	10000 坪以上	---	30000 m ² 以上 15000 m ² 以上	30000 m ² 以上 5000 m ² 以上	10000 坪以上 7000 坪以上 2000 坪以上
貸付総面積	---	---	---	---	6500 坪以上 4500 坪以上 ---
基準階面積	300 坪以上	380 坪以上	---	1000 m ² 以上 300 m ² 以上	500 坪以上 250 坪以上 200 坪以上
築年	15 年以内	10 年以内	15 年未満 25 年未満	---	11 年未満 --- ---
建物高さ	---	---	---	20 階以上 8 階以上	---
竣工年	---	---	---	1990 年以降 1982 年以降	---
新耐震基準	---	---	---	---	--- 準拠したビル 準拠したビル
設備	天井高 2.7m 以 上、個別空調、 高い耐震、高 い環境性能	---	---	---	---

う因果関係があるので、賃料とそれ以外の属性を同等に扱くと、グレードの分類基準が基準として意味をなさなくなる可能性もある。一方本研究では、グレード間の賃料水準や物件件数を直接コントロールすることはできないが、賃料の分散を最大化するという統計学的に根拠のある考え方で各属性の閾値を決定する。オフィスビルについてはヘドニック法を用いた賃料推定に関する研究（例えば文献⁸⁾⁹⁾）が多数行われているが、本研究のような視点に基づいた研究は存在せず、本研究は独自性を有している。ちなみに不動産分野とは異なるが、金融の分野では債務者等の信用リスクをもとにした統計的な格付け手法が実用化されている¹⁰⁾。この方法では、債務者の複数の説明属性からロジスティック回帰などを用いてデフォルト確率をもとめ、その値に設定した閾値をあてはめて格付けが決定される。しかしこの手法の閾値の決定は主観的であり、本研究のように閾値それ自体を統計的に求めることは行われていない。

以降において、2 章で分散分析について概説し、3 章でグレード分類問題について述べる。次いで 4 章で検証のためのデータの基礎分析を行い、5 章でそのデータを用いて提案手法の検証を行う。そして 6 章で論文をまとめる。

2. 分散分析

本章では本研究で用いる分散分析について概説する。分散分析は統計学の手法であり、各群の分散が等しいことを前提として、複数の群間の平均値の差を検定する手法である。本研究では、比較する要因が一次的に配置している一元配置型を用いる。2 群以上を対象とした一元配置型分散分析では、各標本群における考慮すべき指標の平均値が全体としてばらついているかを調べるために使用される。これは分析対象とする各群の平均値間の分散を、群内の標本値の分散と比較することにより検定され、もし仮に、群内のばらつきに対し、群間のばらつきが十分に大きければ、各群の間に差があるという判断ができる。

全体のデータ集合をデータ I 、群の集合を K 、各群を $k \in K$ と表す。群 k のデータ集合を $I_k \subset I$ と、各データを $i \in I_k$ とする。 X_i をデータ i の値、データ全体の値の平均値を $\bar{X}$ 、群 k のデータの平均値を $\bar{X}_k$

とする。群間偏差平方和 (SSG) は、

$$SSG = \sum_{k \in K} |I_k| (\bar{X}_k - \bar{X})^2 \quad (1)$$

郡内偏差平方和 (SSE) は、

$$SSE = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I_k} (X_i - \bar{X}_k)^2 \quad (2)$$

と表される。これらを自由度で割ると、分散そのものになる。群間分散 (MSG) は、

$$MSG = \frac{SSG}{|K| - 1} \quad (3)$$

群内分散 (MSE) は、

$$MSE = \frac{SSE}{|I| - |K|} \quad (4)$$

である。この郡内分散と群間分散の比は、以下のように一般に分散比 (F 値) と呼ばれる。

$$F = \frac{MSG}{MSE} = \frac{(|I| - |K|)SSG}{(|K| - 1)SSE} \quad (5)$$

3. グレード分類問題

本章では提案するグレード分類問題とその解法について説明する。

オフィスビルのグレード分類の定義として、不動産サービス提供会社が公表しているものと同様に(1.4 節参照)、ビルの構造属性や立地属性等の属性について閾値を定め、それらの閾値を全て満たすオフィスビルを上位(A)グレード、それらを一つでも満たさないものを下位(B)グレードとする。定式化を簡単にするため、延床面積のようにその属性値が大きいほどビルグレードが高いとする。したがって、築年数や最寄駅までの時間等、その値が小さい程グレードが高いと考えられる属性は、元の値に-1 をかけてから用いる^{注1)}。

3.1 定式化

以上で述べたグレード分類の考え方をもとに、2 章で触れた分散分析の手法を用いて、オフィスビルのグレード分類問題の定式化を行う。

物件集合を I 、各物件を $i \in I$ 、属性集合を J 、各属性を $j \in J$ と表

す。また、物件 i の属性 j の値を a_{ij} 、物件 i の賃料を r_i とする。
 $I_A, I_B \subset I$ をそれぞれグレード A, B の物件集合とすると、全物件の分類を (I_A, I_B) と表すことができる。

以上の準備より、全物件の賃料平均を μ とすると、

$$\mu = \frac{\sum_{i \in I} r_i}{|I|} \quad (6)$$

となる。同様にグレード A, B の賃料平均をそれぞれ μ_A, μ_B とすると、

$$\mu_A = \frac{\sum_{i \in I_A} r_i}{|I_A|}, \mu_B = \frac{\sum_{i \in I_B} r_i}{|I_B|} \quad (7)$$

となる。さらに式(1)より、グレードの群間偏差平方和は、

$$SSG(A, B) = |I_A|(\mu - \mu_A)^2 + |I_B|(\mu - \mu_B)^2 \quad (8)$$

と表され、式(2)より群内偏差平方和は、

$$SSE(A, B) = \sum_{i \in I_A} (r_i - \mu_A)^2 + \sum_{i \in I_B} (r_i - \mu_B)^2 \quad (9)$$

と表される。群間、群内偏差平方和の自由度はそれぞれ、 $|K| - 1 = 2 - 1 = 1$ 、 $|I| - |K| = |I| - 2$ だから、式(3)～(5)よりグレード A, B の賃料の分散比は次式で表される。

$$F(A, B) = (|I| - 2) \frac{SSG(A, B)}{SSE(A, B)} \quad (10)$$

以上の準備より、グレード分類問題は、以下の問題 P として表すことができる。

$$\begin{aligned} P: \text{maximize} \quad & F(A, B) \\ \text{subject to} \quad & \text{A グレード物件のビルは、すべての属性値} \\ & \text{が閾値以上である。} \\ & \text{B グレード物件のビルは、少なくとも一つ} \\ & \text{の属性値が閾値未満である。} \end{aligned} \quad (11)$$

問題 P を数学的に定式化する。 T_j を属性 j に関する閾値の値、 x_i を物件 i が A グレードに該当するとき 1、B グレードに該当するとき 0 をとる 0-1 変数とする。また、 z_{ij} を物件 i の各々の属性 j の数値 a_{ij} に関して、 $a_{ij} \geq T_j$ を満たすとき 1、 $a_{ij} < T_j$ であるとき 0 をとる 0-1 変数とする。

問題 P の制約条件は、以下の C1 から C4 で表すことができる。

C1: 物件 i が A グレードならば、そのすべての属性の a_{ij} が T_j 以上を満たす。

この制約は、十分に大きな値 M_1 を導入することにより、以下の式で表せる。

$$T_j \leq a_{ij} + M_1(1 - x_i), \quad \text{for } i \in I, j \in J \quad (12)$$

C2: 物件 i が B グレードならば、 T_j 未満となる a_{ij} が少なくとも一つは存在する。

この制約も十分に大きな値 M_2 を導入することにより、以下の式で表せる。

$$\sum_{j \in J} z_{ij} \leq (|J| - 1) + M_2 x_i, \quad \text{for } i \in I \quad (13)$$

C3: $z_{ij} = 1$ ならば $a_{ij} \geq T_j$ である。

この制約も十分に大きな値 M_3 を導入することにより、以下の式で表せる。

$$-T_j + a_{ij} \geq -M_3(1 - z_{ij}), \quad \text{for } i \in I, j \in J \quad (14)$$

C4: $z_{ij} = 0$ ならば $a_{ij} < T_j$ である。

この制約は十分に大きな値 M_4 と小さな値 s を導入すると以下の式で表せる。

$$-T_j + a_{ij} + s \leq M_4 z_{ij}, \quad \text{for } i \in I, j \in J \quad (15)$$

以上をまとめると、式(11)の問題 P は、次式のように定式化される。

$$\begin{aligned} P: \text{maximize} \quad & F(A, B) \\ \text{subject to} \quad & T_j \leq a_{ij} + M_1(1 - x_i), \quad \text{for } i \in I, j \in J \\ & \sum_{j \in J} z_{ij} \leq (|J| - 1) + M_2 x_i, \quad \text{for } i \in I \\ & -T_j + a_{ij} \geq -M_3(1 - z_{ij}), \quad \text{for } i \in I, j \in J \\ & -T_j + a_{ij} + s \leq M_4 z_{ij}, \quad \text{for } i \in I, j \in J \\ & x_i \in \{0, 1\}, \quad \text{for } i \in I \\ & z_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \text{for } i \in I, j \in J \\ & T_j \geq 0, \quad \text{for } j \in J \end{aligned} \quad (16)$$

3.2 解法

先に定式化した問題 P の目的関数は式(10)に示した分数計画問題なので、そのままでは解くのが難しい。そこで、次のパラメトリック問題 $P(\lambda)$ を導入する。

$$\begin{aligned} P(\lambda): \text{maximize} \quad & (|I| - 2)SSG(A, B) - \lambda \cdot SSE(A, B) \\ \text{subject to} \quad & \text{問題 } P \text{ の制約条件} \end{aligned} \quad (17)$$

この問題 $P(\lambda)$ の最適値を $P^*(\lambda)$ 、 $P^*(\lambda) = 0$ となる λ を λ_0 とするとき、次の事実が知られている¹¹⁾。

定理 1: 問題 P の最適解は、問題 $P(\lambda_0)$ の最適解に一致する。

この定理によって、問題 P を解くことと、問題 $P(\lambda)$ をパラメータ λ を変更させながら繰り返し解いて、 $P^*(\lambda) = 0$ となる $\lambda = \lambda_0$ を求めることが等価になる。式(6)(7)より $|I|\mu = |I_A|\mu_A + |I_B|\mu_B$ となる。また、 r_i を $r_i - \mu$ に変換しても $SSG(A, B)$ 、 $SSE(A, B)$ はともに変化しないので、以降では $\mu = 0$ を仮定する。すると $|I_A|\mu_A + |I_B|\mu_B = 0$ となるので、 SSG は以下のように変形できる。

$$SSG(A, B) = |I_A|(\mu - \mu_A)^2 + |I_B|(\mu - \mu_B)^2 = |I_A|\mu_A^2 + |I_B|\mu_B^2 \quad (18)$$

同様に、 SSE は以下の式(19)に変形可能である。

$$\begin{aligned} SSE(A, B) &= \sum_{i \in A} (r_i - \mu_A)^2 + \sum_{i \in B} (r_i - \mu_B)^2 \\ &= \sum_{i \in A} (r_i^2 - 2r_i\mu_A + \mu_A^2) + \sum_{i \in B} (r_i^2 - 2r_i\mu_B + \mu_B^2) \\ &= \sum_{i \in A} r_i^2 + \sum_{i \in B} r_i^2 - 2|I_A|\mu_A^2 + |I_A|\mu_A^2 - 2|I_B|\mu_B^2 + |I_B|\mu_B^2 \\ &= \sum_{i \in I} r_i^2 - |I_A|\mu_A^2 - |I_B|\mu_B^2 \end{aligned} \quad (19)$$

したがって、問題 $P(\lambda)$ の目的関数は以下のようにになる。

$$\begin{aligned} & (|I| - 2)SSG(A, B) - \lambda \cdot SSE(A, B) \\ &= (|I| - 2)(|I_A|\mu_A^2 + |I_B|\mu_B^2) - \lambda \left(\sum_{i \in I} r_i^2 - |I_A|\mu_A^2 - |I_B|\mu_B^2 \right) \end{aligned} \quad (20)$$

ここで、式(20)の $\sum_{i \in I} r_i^2$ は定数なので、 $P(\lambda)$ を最大化することは、固定された λ に対して、 $|I_A|\mu_A^2 + |I_B|\mu_B^2$ を最大化することに他ならない。また、 $|I|\mu = |I_A|\mu_A + |I_B|\mu_B$ と $\mu = 0$ の仮定から $|I_B|\mu_B = -|I_A|\mu_A$ が成り立つため、

$$\begin{aligned} |I_A|\mu_A^2 + |I_B|\mu_B^2 &= |I_A|\mu_A \left(\mu_A + \frac{|I_A|\mu_A}{|I_B|} \right) \\ &= \sum_{i \in A} r_i \left(\sum_{i \in A} \frac{r_i}{|I_A|} + \sum_{i \in A} \frac{r_i}{|I_B|} \right) = \left(\frac{|I|}{|I_A||I_B|} \right) \left(\sum_{i \in A} r_i \right)^2 \end{aligned} \quad (21)$$

と表すことができる。

よって $|I_A|$ 一定の下では、問題 $P(\lambda)$ を解くことは $\sum_{i \in A} r_i$ を最大化することに等しい。すなわち、次の混合整数計画問題 P' を解けばよい^{注2)}。ここで c は、A グレードの物件数を表すパラメータとする。

$$\begin{aligned} P': & \text{maximize } \sum_{i \in I} x_i r_i \\ \text{subject to } & \text{問題 } P \text{ の制約条件} \\ & \sum_{i \in I} x_i = c \end{aligned} \tag{22}$$

先に、問題 P の最適解は、問題 P を解く代わりに問題 $P(\lambda)$ をパラメータ λ を変更させながら繰り返し解いて、 $P^*(\lambda) = 0$ となる $\lambda = \lambda_0$ を求めればよいと述べたが、結局、パラメータ c の値を一つずつ変えながら問題 P' を繰り返し解けばよい。

4. 検証のためのデータの基礎分析

提案手法を東京都 23 区内のオフィスビルのデータに適用して検証を行う。その準備として、データの基礎分析を行う。検証のために使用したデータは、東京都 23 区内に立地する主にオフィスとして利用されているビルに関する 2013 年と 2014 年の基本属性データ（以下、物件データと呼ぶ）と成約賃料データ（以下、成約賃料データと呼ぶ）であり、いずれも東京都内に本社を置くプロパティマネジメント会社から提供を受けたものである。各年のビルの棟数はそれぞれ 1422 棟、1079 棟であり、これらのうち 661 棟が両年で共通している。これらに加えて、最寄駅の規模も重要な属性と考え、年度がやや古いのが、国土数値情報の 2012 年度駅別乗降客数データを用いて物件の属性としている。なお、基本属性データには最寄駅の駅名が記載されているが、鉄道会社名や路線名は記載されていない。そこで同一名称の駅に関して複数の乗降客データが存在する場合は、それらの合計を乗降客数としている。

4.1 基礎統計

物件データには、ビルの様々な属性に関する情報が存在するが、本

研究では表 2,3 に示す属性項目を用いて分析を進める。ここで築年数はそれぞれ、2013 年 12 月 31 日、2014 年 12 月 31 日で計算している。これらの属性を表 1 の企業分類項目と比較した場合、まず前述したように、立地の重要な属性と考えられる最寄り駅に関する 2 項目を追加した点が異なる。さらに、表 1 にある貸付面積は、物件データの延床面積との相関が 0.9 を超えていたので含めていない。竣工年は築年と情報が重複する部分があるので含めていない。加えて、新耐震基準を含めた耐震性能や個別空調、環境性能等に関しては、網羅的にデータを得ることが難しかったので、それらも含めていない。

表 2 使用データの基礎統計：2013 年

属性項目(単位)	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
主要 5 区	0.76	1	0	1	0.43
最寄駅乗降客(人)	344895	117018	2288	3235584	623938
最寄駅徒歩時間(分)	3.38	3	0	15	2.37
築年数(年)	24.6	24	0	80	11.3
階数(階)	10.9	9	3	60	6.7
延床面積(坪)	4880	1586	300	114783	9872
基準階面積(坪)	226.6	147	20	2975	239.2
天井高さ(mm)	2574	2550	2150	4100	147.4
成約賃料(円/月・坪)	16472	15000	4500	43000	5710

表 3 使用データの基礎統計：2014 年

属性項目(単位)	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
主要 5 区	0.75	1	0	1	0.43
最寄駅乗降客(人)	411595	117018	4133	3235584	713448
最寄駅徒歩時間(分)	3.38	3	0	14	2.21
築年数(年)	24.0	24	0	62	11.4
階数(階)	11.4	9	3	60	7.2
延床面積(坪)	5411	1803	300	114783	10753
基準階面積(坪)	233.1	159	30	2975	251.7
天井高さ(mm)	2577	2560	2200	3700	136.3
成約賃料(円/月・坪)	16958	15500	6000	44635	5751

表 4 使用データの属性間の相関：2013 年

	主要 5 区	最寄駅乗降客	最寄駅徒歩時間	築年数	階数	延床面積	基準階面積	天井高さ
最寄駅乗降客	-0.07	---	---	---	---	---	---	---
最寄駅徒歩時間	-0.14	0.14	---	---	---	---	---	---
築年数	0.07	-0.03	-0.07	---	---	---	---	---
階数	0.07	0.12	-0.09	-0.24	---	---	---	---
延床面積	0.03	0.09	-0.08	-0.12	0.82	---	---	---
基準階面積	-0.06	0.03	0.01	0.02	0.44	0.71	---	---
天井高さ	-0.02	0.01	0.00	-0.51	0.30	0.29	0.33	---
成約賃料	0.35	0.14	-0.26	-0.25	0.50	0.48	0.35	0.41

表 5 使用データの属性間の相関：2014 年

	主要 5 区	最寄駅乗降客	最寄駅徒歩時間	築年数	階数	延床面積	基準階面積	天井高さ
最寄駅乗降客	-0.03	---	---	---	---	---	---	---
最寄駅徒歩時間	-0.16	0.04	---	---	---	---	---	---
築年数	0.00	0.05	-0.05	---	---	---	---	---
階数	0.04	-0.04	-0.11	-0.25	---	---	---	---
延床面積	-0.02	-0.04	-0.07	-0.20	0.83	---	---	---
基準階面積	-0.14	-0.04	0.01	-0.14	0.46	0.69	---	---
天井高さ	0.02	-0.01	0.02	-0.09	0.07	0.06	0.06	---
成約賃料	0.31	0.02	-0.25	-0.38	0.53	0.47	0.29	0.07

図 1 成約賃料データのヒストグラム

4.2 相関

表 4.5 にそれぞれ 2013 年と 2014 年のデータの属性間の相関を示す。両年度のデータにおいて、階数と延床面積には高い相関がみられ、基準階面積と延床面積にはかなり高い相関がみられる。2013 年のデータにおいては築年数と天井高の間にはかなり高い相関がみられるが、2014 年のデータではそこまでの相関はみられない。

4.3 成約賃料のヒストグラム

1 章で賃料の分布形状が偏っていることを述べたが、その例として図 1 に両年のデータにおける成約賃料のヒストグラムを示す。平均値は両年度とも 16000 円台後半であるが、分布のすそ野が高賃料の方に広がっている。

5. 検証

提案手法を 4 章で示したデータに適用して検証を行う。以下に実験の設定と結果について述べる。

5.1 設定

本研究では、成約賃料の分散比を最大化する最適な閾値の組み合わせを求めるが、得られる閾値の有効数字が大きいと、計算時間やルールの一般性という点で問題が生じる。そこで表 6 に示すように、各属性にとって意味のあると思われる最小単位を設定し、元のデータの最小単位未満を四捨五入することで、検証用のデータに変換する^{注3)}。

次に、用いる属性の組み合わせを考える。あるデータに対して、理論的にはすべての属性を使えば、それだけデータを細かく分類できるので、当該データにおける分散比を最も高くできる。しかし分類基準の一般性を考慮した場合、多数の属性を用いるといわゆる過学習と呼ばれる状態になり、他の年度のデータで試した場合に分散比が下がる可能性がある。本問題では $2^8-1=255$ 通りの組み合わせが考えられるが、これと A グレードビルの件数を表すパラメータ c に関するパラメトリック問題 P' が掛け合わされると、膨大な試行となってしまう。そこで、表 1 の例も参考にしつつ、今回は表 7 に示した 11 通りの属性の組み合わせを試すこととする^{注4)}。

最適化のソルバーには CPLEX 12.6.2 を用いた。問題 P' の c の値を 1 からおよそ 400 まで一つずつ増加させる繰り返し計算のために、C++を用いてスクリプトを組んだ。

5.2 最適化の結果

まずは各年のデータそれぞれに対して問題 P' を解く。はじめに各年のデータ全体に対して問題 P' を解き、最適値が得られる c におい

表 6 属性データの最小単位

属性	最小単位
最寄駅乗降客数	1000 人
最寄駅徒歩時間	1 分
築年数	1 年
階数	1 階
延床面積	100 坪
基準階床面積	10 坪
天井高さ	50mm

表 7 属性の組み合わせ

属性	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
主要 5 区	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
最寄駅乗降客数	○	○	○	○							
最寄駅徒歩時間	○	○	○	○	○	○	○	○			
築年数	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
階数	○	○	○	○	○	○					
延床面積	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
基準階面積	○			○	○			○		○	○
天井高さ	○	○									○

表 8 3 グレードへの分類結果

実験	年度	分散比	各グレードの物件数 (各年度の物件数に対する比)		
			A	B	C
E1	2013	422.0	39 (0.027)	166 (0.117)	1217 (0.856)
	2014	404.1	25 (0.023)	121 (0.112)	933 (0.865)
E2	2013	404.4	38 (0.027)	139 (0.098)	1245 (0.876)
	2014	393.7	26 (0.024)	122 (0.113)	931 (0.863)
E3	2013	356.6	29 (0.020)	132 (0.093)	1261 (0.887)
	2014	390.6	32 (0.030)	136 (0.126)	911 (0.844)
E4	2013	359.7	21 (0.015)	140 (0.098)	1261 (0.887)
	2014	397.5	30 (0.028)	141 (0.131)	908 (0.842)
E5	2013	358.9	22 (0.015)	142 (0.100)	1258 (0.885)
	2014	386.7	31 (0.029)	139 (0.129)	909 (0.842)
E6	2013	354.9	29 (0.020)	135 (0.095)	1258 (0.885)
	2014	380.1	33 (0.031)	134 (0.124)	912 (0.845)
E7	2013	347.3	29 (0.020)	137 (0.096)	1256 (0.883)
	2014	365.5	35 (0.032)	139 (0.129)	905 (0.839)
E8	2013	349.4	31 (0.022)	135 (0.095)	1256 (0.883)
	2014	371.9	30 (0.028)	147 (0.136)	902 (0.836)
E9	2013	344.3	40 (0.028)	149 (0.105)	1233 (0.867)
	2014	363.4	52 (0.048)	128 (0.119)	899 (0.833)
E10	2013	346.2	38 (0.027)	151 (0.106)	1233 (0.867)
	2014	369.5	30 (0.028)	153 (0.142)	896 (0.830)
E11	2013	356.9	24 (0.017)	144 (0.101)	1254 (0.882)
	2014	381.1	28 (0.026)	130 (0.120)	921 (0.854)

て、物件集合を 2 分類する。近年は 3 分類が標準的であるので、分類された集合のうちどちらかをさらに分類する。詳しくは 5.4 で説明するが、本手法を使うと最初の分類時の上位グレード物件の件数が企業分類の場合よりもかなり多くなるので、上位グレードのデータのみについて、さらに分類を行って 3 分類とし、上位から順に A, B, C グレードとする。グレードを分類する境界を 1 とすると、最初の分類を AB|C, 2 段階目の分類を A|B と表すことができる。

上記の操作を実験 E1 から E11 までの属性の組み合わせについて行い、表 8 の結果を得た。前述したように、単年のデータで分散比の最大化を行った場合、すべての属性を用いた E1 の分散比がいずれの年

表 9 第 1 段階の分類 (A|C) における最適閾値

実験	年度	主要 5 区	最寄駅乗降客数	最寄駅徒歩時間	築年数	階数	延床面積	基準階面積	天井高さ
E1	2013	1	10000	6	59	10	1500	90	2550
	2014	1	8000	7	20	8	1100	100	2650
E2	2013	1	11000	7	80	8	1300	---	2700
	2014	1	21000	7	20	8	1100	---	2650
E3	2013	1	11000	9	18	8	1500	---	---
	2014	1	17000	7	20	8	1200	---	---
E4	2013	1	11000	9	18	8	1500	50	---
	2014	1	17000	7	20	8	1100	140	---
E5	2013	1	---	8	18	8	1500	40	---
	2014	1	---	7	19	8	1100	90	---
E6	2013	1	---	8	18	8	1500	---	---
	2014	1	---	7	19	8	1200	---	---
E7	2013	1	---	7	18	---	1500	---	---
	2014	1	---	7	19	---	1200	---	---
E8	2013	1	---	7	18	---	1500	30	---
	2014	1	---	7	19	---	1100	100	---
E9	2013	1	---	---	18	---	1300	---	---
	2014	1	---	---	19	---	1300	---	---
E10	2013	1	---	---	18	---	1300	70	---
	2014	1	---	---	19	---	1100	100	---
E11	2013	1	---	---	18	---	1300	90	2650
	2014	1	---	---	19	---	1100	100	2650
各実験の年度間での変動係数の平均 (全平均=0.102)		0.000	0.213	0.058	0.126	0.019	0.109	0.280	0.010

表 10 第 2 段階の分類 (A|B) における最適閾値

実験	年度	主要 5 区	最寄駅乗降客数	最寄駅徒歩時間	築年数	階数	延床面積	基準階面積	天井高さ
E1	2013	1	50000	3	48	11	12800	380	2650
	2014	1	27000	6	13	17	14300	340	2750
E2	2013	1	44000	3	48	11	12800	---	2700
	2014	1	22000	6	13	17	13600	---	2750
E3	2013	1	42000	3	17	9	17400	---	---
	2014	1	37000	7	13	19	14300	---	---
E4	2013	1	28000	6	14	10	1600	600	---
	2014	1	39000	7	13	19	12300	330	---
E5	2013	1	---	6	14	10	8900	610	---
	2014	1	---	7	13	19	12400	340	---
E6	2013	1	---	3	17	12	19000	---	---
	2014	1	---	7	13	19	12400	---	---
E7	2013	1	---	3	17	---	19000	---	---
	2014	1	---	7	13	---	13600	---	---
E8	2013	1	---	3	17	---	2900	490	---
	2014	1	---	7	13	---	14700	350	---
E9	2013	1	---	---	12	---	12800	---	---
	2014	1	---	---	13	---	6700	---	---
E10	2013	1	---	---	12	---	12300	350	---
	2014	1	---	---	13	---	15200	350	---
E11	2013	1	---	---	14	---	8000	520	2800
	2014	1	---	---	13	---	13600	340	2750
各実験の年度間での変動係数の平均 (全平均=0.175)		0.000	0.215	0.303	0.170	0.272	0.258	0.168	0.012

度のデータでも最大となっている。それ以外の属性の組み合わせで、分散比はおおよそ 350～400 の間となっている。グレード A,B,C のビ

ルの数の比率はどの組み合わせでも概ね安定しており、C グレードが 8 割以上を占める。

表 9 は表 8 の実験において、1 段階目の分類（A|B|C）を行った時の属性の閾値である。ちなみに主要 5 区は{0,1}の値をとり、その値が 1 の場合は、それが閾値として有効になっていることを示している。いずれの実験でも、主要 5 区は有効になっている。各実験の閾値の年度間のばらつきを把握するために、それらの変動係数の平均を表 9 の下部に載せた。変動係数の平均の属性間での全平均が 0.102 なのに対して、最寄駅乗降客数、築年数、基準階面積は、全平均よりも変動係数の平均が大きい。同様に表 10 は、表 8 の実験において、2 段階目の分類（A|A-）を行った時の属性の閾値である。変動係数の平均の属性間の全平均が 0.175 と 1 段階目よりも大きくなっている。また、最寄駅乗降客数、最寄駅徒歩時間、階数、延床面積は、全平均よりも変動係数の平均が大きい。総じて最寄駅乗降客数が、各段階を通じて閾値のばらつきが大きくなる傾向にある。

5.3 異なる年度のデータによる検証

5.2 では、当該年のデータによる分散比の値を把握した。しかし、閾値の一般性・安定性を評価する為には、その閾値を最適化で使った以外のデータで検証する必要がある。そこで、5.2 で得られた閾値のセットを、異なる年のデータに適用し、その時の分散比を求めた。その結果を表 11 に示す。この表の閾値 2013、閾値 2014 は、最適閾値を求める際に用いたデータの年度がそれぞれ 2013 年、2014 年という意味である。これらの列の分散比は、最適化に用いたデータと異なる年度のデータによる分散比を示している。例えば実験 E1 における閾値 2013 の分散比は 280.1 を示しているが、これは、2013 年のデータを使って最適化した閾値を用いて 2014 年のデータを分類した際の分散比が 280.1 という意味である。閾値の安定性・一般性の観点からは、これら分散比ができるだけ大きいものが望ましい。今回の属性の組み合わせにおいて、分散比の最小値が最大となるのは、実験 E11 において閾値 2013 を用いた場合で、その時の分散比は 355.7 となる。一方、最も安定性が無いのは、すべての属性を用いた E1 で閾値 2013 を用いた場合であり、その時の分散比は 280.1 となっている。

分散比の最小値が最大となる実験 E11 での閾値 2013 を「E11-閾値 2013」と略す。表 12 に E11-閾値 2013 による 3 グレードへの物件の分類結果を示す。いずれの年度の分散比もおおむね 355 程度である。表 13 は E11-閾値 2013 の詳細である。5 種類の属性が選ばれており、企業分類とは値が異なっている。データに含まれる属性だけに着目すると、A|B の分類基準は強いて言えば、企業 1 の基準にやや近いかもしれない。

5.4 既存の分類基準との比較

最後に、提案手法（E11-閾値 2013）と表 1 の企業の分類基準の比較を行う。表 14 は、それらの分類基準によって、各年のデータを分類した際の分散比と、その基準をもとに 2 分類・3 分類が可能な場合、分類を集約した際の分散比を示す。Original は表 1 の元の分類基準数による分類である。ただし企業の分類基準において、表 1 に示した項目のうち、設備項目の「個別空調」「高い耐震」「高い環境性能」は、データが得られなかったり基準が曖昧なため考慮していない。また、新耐震基準は 1981 年 6 月 1 日以降に竣工したビルのみが満たしているとして計算を行っている。元の分類基準が 3 分類以上の場合、それよりも少ない分類のパターンは複数通り考えられるが、今回はそれらの中で分散比が最大になる分類パターンを用いた。

その分類パターンと各グレードの件数を表 15 に示す。なお、当該基

表 11 検証データでの分散比

実験	分散比		実験	分散比	
	閾値 2013	閾値 2014		閾値 2013	閾値 2014
E1	280.1	343.9	E7	311.0	336.6
E2	348.7	342.3	E8	310.7	327.8
E3	332.3	323.5	E9	337.0	338.0
E4	320.6	316.8	E10	338.4	321.2
E5	312.0	330.9	E11	355.7	336.4
E6	322.7	339.0			

表 12 E11-閾値 2013 による 3 グレード分類の結果

年度	分散比	各グレードの物件数		
		A	B	C
2013	356.9	24	144	1254
2014	355.7	19	136	924

表 13 E11-閾値 2013 の詳細

分類	主要 5 区	築年数	延床面積	基準階面積	天井高さ
A B C	1	18	1300	90	2650
A B	1	14	8000	520	2800

表 14 提案手法と企業の分類基準による分類後の分散比

分類基準	年度	分散比		
		Original	2 分類	3 分類
提案手法：	2013	356.9	610.7	356.9
E11-閾値 2013	2014	355.7	616.1	355.7
企業 1	2013	331.6	331.6	---
	2014	276.7	276.7	
企業 2	2013	147.3	147.3	---
	2014	分類不可	分類不可	
企業 3	2013	197.4	328.7	197.4
	2014	202.3	318.2	202.3
企業 4	2013	172.2	343.6	172.2
	2014	153.2	304.8	153.2
企業 5	2013	100.2	184.3	132.2
	2014	99.4	172.7	131.9

表 15 提案手法と企業の分類基準による分類後の棟数

分類基準	年度	各グレードの分類パターンと棟数		
		Original	2 分類	3 分類
提案手法：		A B C	A B C	A B C
	E11-閾値 2013	24 144 1254	168 1254	24 144 1254
	2014	19 136 924	155 924	19 136 924
企業 1		A B	A B	
	2013	54 1368	54 1368	---
	2014	48 1031	48 1031	
企業 2		A B	A B	
	2013	39 1383	39 1383	---
	2014	0 1079	0 1079	
企業 3		A B C	A BC	A B C
	2013	56 143 1223	56 1366	56 143 1223
	2014	54 127 898	54 1025	54 127 898
企業 4		A B C	A BC	A B C
	2013	65 112 1245	65 1357	65 112 1245
	2014	62 92 925	62 1017	62 92 925
企業 5		A A-B C	AA- BC	A A-B C
	2013	15 92 213 1102	107 1315	15 305 1102
	2014	16 125 200 738	141 938	16 325 738

図2 各分類基準による2013年度データ分類時のグレード毎の成約賃料分布

準で設定された最低基準を満たさないグレードを、分類基準数に応じて B もしくは C と表記している。分散比は分母に水準数が入るため分類数が増える程その値が減る傾向があり、2 分類の時よりも 3 分類の時のほうの値が減少している。いずれの場合でも提案手法の分散比が企業分類のそれよりも大きく上回っている。表 15 の棟数比較において、提案手法は第一段階の 2 分類で上位グレードの棟数が 160 前後であるが、これは企業の基準による分類の場合よりも 3 倍程度多い。そのため提案手法では上位グレードをさらに A と B に分類した。

図 2 に、2013 年のデータに対して、提案手法と企業の分類基準による各グレードの成約賃料の分布を示す。IQR の領域 (Q1~Q3 の中央値周辺の半数の物件が入る高密度領域) が、提案手法では重なっていないのに対して、2 分類の企業 1, 2 を除いた企業分類では重なっていることから、提案手法のほうがグレード間の成約賃料がより分離するよう物件集合を分類しているのがわかる。A グレード物件に関しては、提案手法のひげの間隔が狭くなっており分布がまとまっている。特に異なるのが 3 分類以上での B グレード物件の成約賃料の中央値であり、提案手法では約 24000 円、企業分類では約 15000~18000 円と、提案手法のほうが 6000 円以上高い値を示している。なお最下位グレードの物件の成約賃料の分布は比較的類似しており、いずれも成約賃料が高い方向への外れ値が目立つ。

また、提案手法の B グレードの成約賃料の中央値は前述したように約 24000 円であるが、これは企業 5 の A-のビルの中央値 (約 22000 円) より若干高く、提案手法では従来の分類基準という B グレードではなく、企業 5 の分類基準における A-グレードに相当する高賃料水準のビルを抽出している。これは第一段階の分類時、A グレードに相対的に高グレード物件が分類されたからだと考えられる。

6. まとめ

本研究では、これまで主観的になされてきたオフィスビルのグレード分類を定量的に行う手法を構築することを目的として、成約賃料を目的変数として、そのグレード間のばらつきを分散比で評価し、それを最大化する各属性の閾値を混合整数計画法によって最適化する方法を提案し、東京 23 区内に立地するオフィスビルのデータを用いて検証を行った。

検証を行った結果、成約賃料の分散比を既存の指標と比較してより

高くなるように、提案手法によってグレード分類が行えることがわかった。属性の安定性を考慮した結果、提案手法によって、今回検討した 11 種類の属性の組み合わせの中から選ばれたのは、主要 5 区、築年数、延床面積、基準階面積、天井高の 5 つであり、それらの値は既存の基準とはやや異なっていた。提案手法によるグレード分類は、既存の分類基準と比較すると、高賃料側の物件を異なるグレードに分類する傾向があった。一方既存の分類基準は、成約賃料が平均付近の物件を分類する傾向があり、それらのグレード間の成約賃料分布には重なりが目立った。

なお今回用いた物件データは 2 年間のものであり、分類基準の安定性を把握するにはより長期間のデータが必要であろう。加えて、計算時間の都合上、今回は変数の組み合わせをあらかじめ 11 種類に絞ったうえで計算を行った。今後は変数の網羅的な組み合わせによる検証も必要になる。さらに、今回は 3 分類する際に 2 分類を繰り返して行ったため、3 分類時の分散比が最大になっている保証はない。2 分類と違って 3 分類の分散比の厳密な最適化は難しいため、メタヒューリスティクスなどで近似的に一気に分類を行い、本研究の結果と比較することも必要になる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、データや貴重なご意見をいただいた株式会社ザイマックス不動産総合研究所の皆様に感謝いたします。

注

注1) 本問題は属性値の順序関係によってグレード分類が決定する。属性値を非線形変換するなどしても値の順序関係は変わらない。例えば三つのビルの基準階面積を、小さいほうから順に 300, 500, 1000m² と入力しても、1, 2, 3 と入力しても、グレードの分類結果は同じになる。これと関連して、築年数等、その値が小さいほどグレードが上昇すると考えられる属性については、符号を逆転させず元の値のままでも同じ結果を得られる。しかしその場合、式(11)以降の制約条件の記述において、符号の方向性を属性毎に設定する必要があり定式化が煩雑になるので、それらの属性については符号を逆転させる処理を行っている。

注2) x_i はビル $i \in I$ が A グレードであれば 1、そうでなければ 0 をとるので、 $\sum_{i \in I} x_i$ は A グレードのビルの棟数を示す。さらに問題 P' の目的関数は、その上 3 行目で述べているように $|I_A|$ 一定という条件下で成り立つので、 c を A グレードの物件数を表すパラメータとして $\sum_{i \in I} x_i = c$ という制約条件を導入することで、 $|I_A|$ 一定という条件を表現している。

注3) 最小単位の設定にあたっては、数値の詳細さと粗さのバランスをデータ提

供元企業の実務家と議論し、床面積系の桁数の大きい属性は、表1の企業の各属性の区分よりも有効数字が1桁多い程度に設定し、それら以外で桁数が多い最寄り駅乗降客数は、その平均値の有効数字3桁で数値を四捨五入している。天井高さは10mm単位では空間の印象等に大きな変化は無いと考え、50mm単位としている。その他の桁数の小さい属性は、四捨五入せずそのままの数値を利用している。

注4) 属性の組み合わせを考慮するにあたり、表1に示した多くの企業分類で、対象エリア（主要5区）、延床面積、基準階面積、築年の属性が使われている。これらのうち、延床面積と基準階面積は表4,5で示した相関係数が0.7前後と高いため、延床面積でビルの特徴を代表させ、それに加えて主要5区、築年の3属性を基本属性として用いる。何回か予備的な試行を行った結果、E1からE4までは最寄駅乗降客数と最寄駅徒歩時間の両者を加味し、E5からE8までは成約賃料と相関が高い最寄駅徒歩時間の方を考慮に入れ、E9以降は企業分類に倣って最寄駅関連の指標を考慮しないことにし、他の属性を適宜分散させて取り入れている。

参考文献

- 1) 松村徹：市場の二極化、実は階層化—平均値だけでは把握できないオフィスビル市場、ニッセイ基礎研究所、2004。http://www.nli-research.co.jp/report/real_estate_report/2004/fudo0407-a.html（2015.8.30確認）
- 2) CBRE: CBRE オフィス空室率・平均賃料速報(2014 年7 月期), 2014, http://www.cbre.co.jp/JP/aboutus/mediacentre/mediaarchives/PressRelease/CBRE PressRelease140807_JP.pdf（2015.8.30確認）
- 3) 三幸エステート株式会社：A クラスビル成約ベース賃料, RENTDATA2014 オフィスレントデータ, 2014.
- 4) Savills: ブリーフィング オフィス市場2014 年第1 四半期, 2014, http://pdf.savills.asia/pacific-research/japan-research/japan-office/jp-office-q1-2014-j.pdf（2015.8.30確認）
- 5) Cushman & Wakefield: グレードA オフィスへの需要は健全—2014 年第三四半期オフィス・レポート, 2014. http://www.cushmanwakefield.jp/ja-jp/news/2014/10/tokyo-office-3q2014/（2015.8.30確認）
- 6) Jones Lang Lasalle: 東京Bグレードオフィス 注目すべき投資セクター, 2013.8, http://www.joneslanglasalle.co.jp/japan/ja-jp/Documents/Tokyo%20B%20Grade/JLL_TokyoBGrade_Aug2013_J.pdf（2015.8.30確認）
- 7) Building Owners and Managers Association International: Building Class Definitions, http://www.boma.org/research/Pages/building-class-definitions.aspx（2015.8.30確認）
- 8) 中村良平: オフィス・ビル賃料のヘドニック分析, 岡山大学経済学会雑誌, 25, 3, pp.239-256, 1994.
- 9) 瀧澤重志, 材木敦, 加藤直樹, 具源龍: 新橋に立地するオフィスビルの感性評価を考慮した賃料分析, 日本建築学会計画系論文集, 73, 627, pp.1053-1057, 2008.5.
- 10) 日本銀行金融機構局金融高度化センター: I. 内部格付制度と信用リスク計量化, 2013.4
- 11) T. Ibaraki: Solving mathematical programming problems with fractional objective functions, Generalized Concavity in Optimization and Economics, pp.441-472, 1981.

A GRADING METHOD FOR OFFICE BUILDINGS BASED ON THE MAXIMIZATION OF VARIANCE RATIO OF CONTRACTED RENTS

Atsushi TAKIZAWA *, *Sumiyo Ikegami* ** and *Naoki KatoH* ***

* Assoc. Prof., Dept. of Urban Eng., Grad. Sch. of Eng., Osaka City Univ., Dr.Eng.

** Grad. Stud., Dept. of Arch. and Architectural Eng., Grad. Sch. of Eng., Kyoto Univ.

*** Prof., Dept. of Informatics, Sch. of Science and Technology, Kwansei Gakuin Univ., Dr.Eng.

Since office buildings vary in location, size, facility, rent and so on, it is difficult to illustrate their market with the average of such indices; segmentation according to those building specifications (specs) is needed. As an example of segmentation, some real estate-related companies grade office buildings according to their specs. Although their standards differ from each other, a few companies use the height and age of buildings. Conversely, attributes such as location, gross floor area, base floor area and building age are commonly used even though their values still differ for each company. Moreover, the number of grades differs from company to company, with there being two to four grades. These standards of grades have monotonicity, with wider floor area, newer buildings, etc. being better. In foreign countries, real estate-related companies also grade office buildings and make market reports on the basis of the grade. For example, Building Owners Management Association, which is an organization of office building owners in the United States, sets three grades of buildings, as A, B and C, in descending order and defines the overall characteristics of each grade. This grade differs from that of Japan in that rent is considered to be one of the building specs. Standards of the office building grade evaluation are subjective, sensory, and differ from company to company in that one company might deem a building to be A grade and the other might deem the same building to be B grade.

With the above discussion as the backdrop, we propose a quantitative grading method for office buildings. This method optimizes the thresholds of each spec of office buildings so as to maximize the variance ratio of contracted rents of targeted office buildings for each grade. We formulate this problem as parametric mixed integer programming and validate the method with the data of office buildings located in 23 Tokyo wards in 2013 and 2014. In the experiments, we tested 11 combinations of building specs.

The results of the experiments support the following conclusions. Compared with the existing typical office building grades published by some companies, the proposed method can grade office buildings that exhibit an increased variance ratio of rent. The best combination of building spaces derived by the proposed method comprises the following specifications: a location that is within the main five wards, building age, total floor area, base floor area and ceiling height. These specs differ slightly from those of the existing standards. The existing standards tend to classify buildings that have rents close to the average of different grades; overlaps of rents between different grades are often seen. Conversely, the proposed method sets the grade to classify buildings that have high rents in different grades.

Since the term of the data used for this experiment is only 2 years, we need longer-term data to validate the stability of the derived building specs. In addition, since we limited the combination of attributes to 11 due to the constraint of computational time, we should examine the combination of attributes exhaustively.

(2016 年 1 月 24 日原稿受理, 2016 年 6 月 20 日採用決定)