

一般化灰色分析への一提案

山口 大輔[†]
赤羽根 隆広[‡]

李 国棟[‡]
永井 正武[§]

水谷 晃三[‡]
北岡 正敏[§]

本論文では、取り扱いが可能な値の範囲を拡大することによる、一般化灰色分析を提案する。従来の灰色分析では参照ベクトル（または数列）、比較ベクトルや灰色関連度などを白化値として扱っていた。本論文は伝統的な灰色分析を White-In-White-Out (WIWO) GRA と定義した。区間灰数にいくつかの新しい演算を定義した後、ミンコフスキー距離型灰色分析に基づく 2 種類のアルゴリズムを開発した。1 つは灰色関連度が最終的に白化値として与える Grey-In-White-Out (GIWO) GRA, もう 1 つは灰色関連度を区間灰数として与える Grey-In-Grey-Out (GIGO) GRA である。本提案アルゴリズムのいずれも、入力値を区間灰数とすることができる。3 つの例題に本手法を適用する。

On the Generalization of Grey Relational Analysis

Daisuke YAMAGUCHI[†] Guo-Dong LI[‡] Kozo MIZUTANI[‡]
Takahiro AKABANE[‡] Masatake NAGAI[§] Masatoshi KITAOKA[§]

In this paper we developed new grey relational analysis by expanding a range of treatable value. Traditional GRA procedure treats almost whitened value, reference vector (or sequence), inspected vector and grey relational grade. We called that traditional GRA is White-In-White-Out (WIWO) GRA. We developed two kinds of GRA algorithm based on the topological-based GRA, after defined several new operations of interval grey number. On the one hand, the GRA which gives the grey relational grade whitened value finally is named Grey-In-White-Out (GIWO) GRA. On the other hand, the GRA which gives the grey relational grade the interval grey number is named Grey-In-Grey-Out (GIGO) GRA. Both new GRA procedures treat the reference vector and the inspected one as the interval grey number. Three examples are given in this paper, we discuss a property of the grey relational grade obtained by proposals.

1. はじめに

鄧によって提案された灰色分析は、灰色理論において与えられたデータを解析する最も重要でよく知られた方法である。これまで多くの灰色分析アルゴリズムが報告 [1, 2, 3, 4, 5] されており、そしてそれらのほとんどは白化値を取り扱っていた。灰色理論では灰数（例えば区間灰数と鄧の灰数が定義されている。しかし、これまで区間をもつ値は前処理によって白化して使用している。

Xiao と Li は区間灰色分析 [6] を提案し、クラスタリング問題に適用している。Xiao は与えられた 2 つの区間数の距離を定義した上で灰色関連度を提案した。そして、規範性・偶対称性・全体性・接近性といった 4 つの公理を示している。ただし、灰色関連係数・灰色関連度は共に白化値として定義している。

本論文では一般化灰色分析 すなわち入力値や灰色関連度が区間灰数で与えられた場合の灰色分析

の計算について議論する。後述する区間灰数とそれらの演算は、ファジーメンバシップ関数などとの関係から、今後 Granular Computing [13] といったソフトコンピューティング分野に適用可能だと考えている。

区間灰数とその基本演算を次節でまとめる。そして、区間解析 [7, 8, 9, 10, 11] に基づくいくつかの新しい演算と関数を追加する。区間解析は、精度保証付き数値計算の実現方法として提案されている。区間解析にて定義されている演算が区間灰数と互換性を持つので、それらのいくつかを本論文で導入する。そして、一般化灰色分析の概念を示した後、GIWO と GIGO と呼ばれるミンコフスキー距離型灰色分析の新しいアルゴリズムを提案する。どちらのアルゴリズムも 3 つの例、高度医療機器配置問題、日本プロ野球チームの評価、景観画像の検索に適用する。

2. 区間灰数とその演算の諸定義

2.1 区間灰数と基本演算の定義

以下の定義 1, 2, 3 は文献 [14] による。また、定義 5 は文献 [12] による。

定義 1. A を実数の部分集合 $A \subseteq \mathbf{R}$ とする。任意

[†]神奈川大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kanagawa University

[‡]帝京大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Teikyo University

[§]神奈川大学工学部 Faculty of Engineering, Kanagawa University

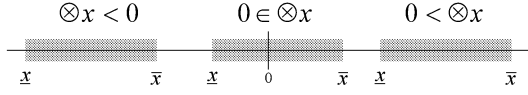


図 1 区間灰数と 0 の関係

の実数 $a, b (a = \inf A, b = \sup A)$ を区間として備える数 $\otimes x$ について、以下の定義を行う。

1. $a \rightarrow -\infty, b \rightarrow +\infty$ のとき黒数という
2. $a = b$ のとき白数といい、 $\tilde{\otimes}x$ で表す
3. 上記のいずれでもないとき、 $\otimes x = [a, b]$ を灰数という

定義 2. 定義 1 にて示した実数 a, b を 1 つの区間とすると、任意の実数 x が

$$G_1(x) = \begin{cases} 1 & x \in [a, b] \\ 0 & x < a, b < x \end{cases} \quad (1)$$

$$G_2(x) = \begin{cases} [0, 1] & x \in [a, b] \\ 0 & x < a, b < x \end{cases} \quad (2)$$

となる $G_1(x)$ を区間灰数、 $G_2(x)$ を鄧の灰数 (Deng's grey number) とする。

定義 3. 区間灰数 $\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}]$, $\otimes y = [\underline{y}, \bar{y}]$ における四則演算を以下に定義する。

$$\otimes x + \otimes y = [\underline{x} + \underline{y}, \bar{x} + \bar{y}] \quad (3)$$

$$\otimes x - \otimes y = [\underline{x} - \bar{y}, \bar{x} - \underline{y}] \quad (4)$$

$$\otimes x \times \otimes y = [\min(\underline{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y}), \max(\underline{x}\underline{y}, \bar{x}\bar{y}, \underline{x}\bar{y}, \bar{x}\underline{y})] \quad (5)$$

$$\otimes x \div \otimes y = \otimes x \times \left[\frac{1}{\bar{y}}, \frac{1}{\underline{y}} \right], \quad 0 \notin \otimes y \quad (6)$$

定義 4. 区間灰数 $\otimes x = [\underline{x}, \bar{x}]$ と 0 の関係について以下に表現する (図 1)。

$$\otimes x \leq 0 \quad \text{if } \bar{x} \leq 0 \quad (7)$$

$$0 \in \otimes x \quad \text{if } \underline{x} \leq 0 \leq \bar{x} \quad (8)$$

$$0 \leq \otimes x \quad \text{if } 0 \leq \underline{x} \quad (9)$$

定義 5. 正の整数 n に対して、区間灰数 $\otimes x$ の累乗を以下に定義する。

$$\otimes x^n = \begin{cases} [1, 1] & \text{if } n = 0 \\ [\underline{x}^n, \bar{x}^n] & \text{if } 0 \leq \otimes x \text{ or } n \text{ is odd} \\ [\bar{x}^n, \underline{x}^n] & \text{if } \otimes x \leq 0 \text{ and } n \text{ is even} \\ [0, \max(\underline{x}^n, \bar{x}^n)] & \text{if } 0 \in \otimes x \text{ and } n > 0 \text{ is even} \end{cases} \quad (10)$$

2.2 区間灰数への新しい演算

定義 6. 文献 [12] により、区間灰数に対して以下の関数を定義する。

Midpoint or Center:

$$\text{mid}(\otimes x) = \frac{\bar{x} + \underline{x}}{2} \quad (11)$$

Diameter:

$$\text{dia}(\otimes x) = \bar{x} - \underline{x} \quad (12)$$

Radius:

$$\text{rad}(\otimes x) = \frac{\bar{x} - \underline{x}}{2} \quad (13)$$

Magnitude:

$$\text{mag}(\otimes x) = \max(|\underline{x}|, |\bar{x}|) \quad (14)$$

Mignitude:

$$\text{mig}(\otimes x) = \min(|\underline{x}|, |\bar{x}|) \quad (15)$$

Absolute I:

$$\text{abs}(\otimes x) = \text{mag}(\otimes x) - \text{mig}(\otimes x) \quad (16)$$

Absolute II:

$$\|\otimes x\| = [\text{mig}(\otimes x), \text{mag}(\otimes x)] \quad (17)$$

Absolute II を除く各関数は白化値を返す。従って上記の定義は白化関数 [1, 2, 3] の一部と捉えることができる。

定義 7. $0 \leq \otimes x$ を満たす区間灰数について、定義 5 に示す累乗を $0 \leq n \leq 1$ が使えるように拡張する。それに伴い、以下に示す累乗根を定義する。

$$\sqrt{\otimes x} = [\sqrt{\underline{x}}, \sqrt{\bar{x}}] \quad \text{if } n = 0.5 \quad (18)$$

$$\otimes x^{\frac{1}{m}} = [\sqrt[m]{\underline{x}}, \sqrt[m]{\bar{x}}] \quad \text{if } 1 \leq m, n = \frac{1}{m} \quad (19)$$

3. 一般化灰色分析

3.1 基本概念

一般化灰色分析の基本的な概念を図 2 に示す。これまで提案された灰色分析アルゴリズムは、参照ベクトル (または数列)、比較ベクトルおよび灰色関連度に白化値を扱っていた。図 3 に示す伝統的な灰色分析を、本論文では White-In-White-Out (WIWO) GRA と定義する。そして、区間灰数を扱うことができるように処理を拡大し、2 種類の新しいアルゴリズムを提案する。

はじめに、区間灰数を含むベクトルを以下に定義する。

定義 8. 少なくとも 1 つ以上の区間灰数を属性として含むベクトルを灰色ベクトルと定義し、以下に表す。

$$\otimes \mathbf{x}_i = (\otimes x_{i1}, \otimes x_{i2}, \dots, \otimes x_{in})^T \quad (20)$$

ただし、 $\otimes x_{in} = [\underline{x}_{in}, \bar{x}_{in}]$ とする。

上記のベクトルのうち、 $i = 0$ のときは参照ベクトルとなり、 $i > 0$ の整数のとき比較ベクトルとなる。これらのベクトルの値は適用事例によって任意に設定できる。

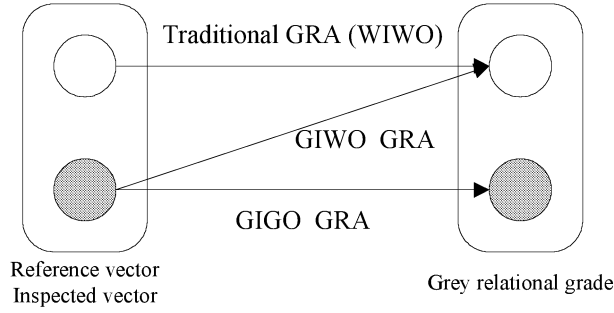


図 2 伝統的灰色分析と本提案アルゴリズムの関係

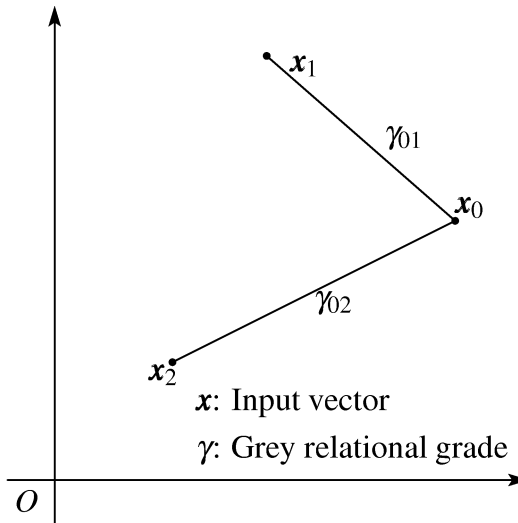


図 3 伝統的灰色分析の例 (White-In-White-Out)

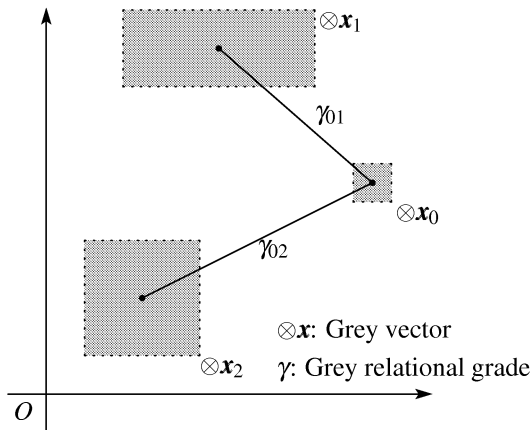


図 4 Grey-In-White-Out 灰色分析の例

3.2 Grey-In-White-Out 灰色分析

定義 9. 参照ベクトルおよび比較ベクトルを灰色ベクトルとし、灰色関連度を白化値とする灰色分析を *Grey-In-White-Out (GIWO)* 灰色分析と定義する。

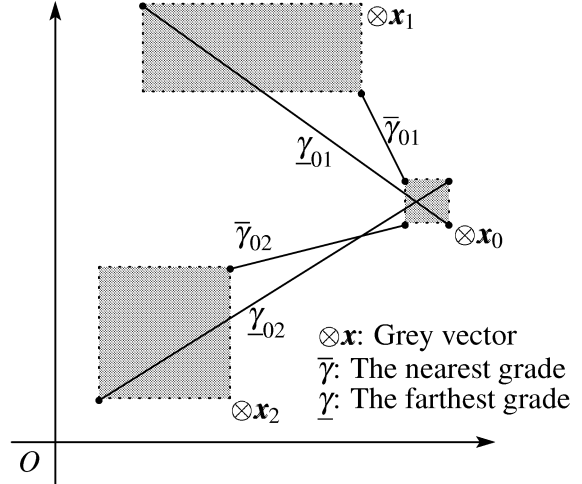


図 5 Grey-In-Grey-Out 灰色分析の例

GIWO は 図 2 にて “GIWO GRA” で示されているように、区間灰数が入力に使われ、灰色関連度が最終的に白化値となる灰色分析である。例えば図 4 において、GIWO は Midpoint により

$$\tilde{\otimes} x_i = (\text{mid}(\otimes x_{i1}), \text{mid}(\otimes x_{i2}), \dots, \text{mid}(\otimes x_{in}))^T \quad (21)$$

のように入力値を白化してから関連度を計算している。このように入力値を白化すれば、任意の灰色分析が適用可能になる。本論文にて示した以外の白化関数も適用可能である。

3.3 Grey-In-Grey-Out 灰色分析

定義 10. 参照ベクトル、比較ベクトルを灰色ベクトルとして与え、かつ灰色関連度を区間灰数とする灰色分析を *Grey-In-Grey-Out (GIGO)* 灰色分析と定義する。

定義 11. 局部型 GIGO 灰色分析において、2つの灰色ベクトルの距離 $\otimes \Delta_{0i}$ を以下に定義する。

$$\otimes \Delta_{0i} = \left(\sum_{k=1}^n \| \otimes x_{0k} - \otimes x_{ik} \|^{\zeta} \right)^{\frac{1}{\zeta}} \quad (22)$$

ただし、 $\otimes \Delta_{0i} = [\underline{\Delta}_{0i}, \bar{\Delta}_{0i}]$; $i = 1, 2, \dots, m$; $\zeta \geq 1$

定義 12. 全体型 GIGO 灰色分析において、2つの灰色ベクトルの距離 $\otimes \Delta_{ij}$ を以下に定義する。

$$\otimes \Delta_{ij} = \left(\sum_{k=1}^n \| \otimes x_{ik} - \otimes x_{jk} \|^{\zeta} \right)^{\frac{1}{\zeta}} \quad (23)$$

ただし、 $\otimes \Delta_{ij} = [\underline{\Delta}_{ij}, \bar{\Delta}_{ij}]$; $i, j = 1, 2, \dots, m$; $\zeta \geq 1$ とする。

定義 13. $\otimes \Delta_{00}$ や $\otimes \Delta_{ii}$ といった自分自身のベクトルの距離を以下に定義する。

$$\otimes \Delta_{00} = 0 \quad (24)$$

$$\otimes \Delta_{ii} = 0 \quad (25)$$

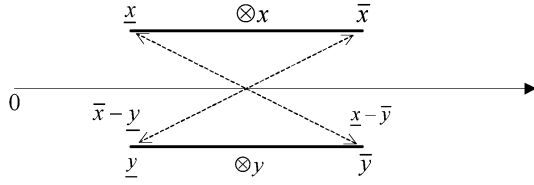


図 6 同一区間における距離計算

定義 14. 局所型 GIGO 灰色分析における灰色関連度 $\otimes\gamma_{0i}$ を以下に定義する。

$$\otimes\gamma_{0i} = \frac{\max_{v_i}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{0i})\} - \otimes\Delta_{0i}}{\max_{v_i}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{0i})\} - \min_{v_i}\{\text{mig}(\otimes\Delta_{0i})\}} \quad (26)$$

ただし, $i = 1, 2, \dots, m; \otimes\gamma_{0i} = [\underline{\gamma}_{0i}, \bar{\gamma}_{0i}]$

定理 1. 全体型 GIGO 灰色分析における灰色関連度 $\otimes\gamma_{ij}$ は以下に与えられる。

$$\otimes\gamma_{ij} = 1 - \frac{\otimes\Delta_{ij}}{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\}} \quad (27)$$

ただし, $i, j = 1, 2, \dots, m; \otimes\gamma_{ij} = [\underline{\gamma}_{ij}, \bar{\gamma}_{ij}]$

証明. 定義 14 により, 全体型 GIGO 灰色関連度は

$$\otimes\gamma_{ij} = \frac{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\} - \otimes\Delta_{ij}}{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\} - \min_{v_{i,j}}\{\text{mig}(\otimes\Delta_{ij})\}} \quad (28)$$

ただし, 定義 13 により $\min_{v_{i,j}}\{\text{mig}(\otimes\Delta_{ij})\} = \otimes\Delta_{ij} = 0$ である。従って, 式 (28) は

$$\begin{aligned} \otimes\gamma_{ij} &= \frac{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\} - \otimes\Delta_{ij}}{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\}} \\ &= \frac{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\}}{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\}} - \frac{\otimes\Delta_{ij}}{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\}} \\ &= 1 - \frac{\otimes\Delta_{ij}}{\max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\}} \end{aligned} \quad (29)$$

□

定義 15. 全体型 GIGO 灰色関連度を扱う行列を灰色関連マトリクス Γ とすると, 以下に表す。

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \otimes\gamma_{11} & \otimes\gamma_{12} & \cdots & \otimes\gamma_{1m} \\ \otimes\gamma_{21} & \otimes\gamma_{22} & \cdots & \otimes\gamma_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes\gamma_{m1} & \otimes\gamma_{m2} & \cdots & \otimes\gamma_{mm} \end{bmatrix} \quad (30)$$

GIGO 灰色分析は図 5 に示すように, 灰色ベクトルとして与えられた領域の 2 つの角を距離計算に用いる。本提案 GIGO 灰色分析は, 累乗演算を定義 5 から定義 7 に拡張することで初めて実現できる。なぜならば, 本論文で取り扱う距離計算は常に 0 より大きいため, 累乗・累乗根の計算に無矛盾だと思われる。本提案灰色関連度 $\bar{\gamma}$ は 2 つの領域の間で最も

距離の近いと思われる点, また $\underline{\gamma}$ は最も遠いと思われる点同士の類似度である。

自分自身の距離は本論文の区間算術演算では原則的に 0 にはならない。図 6 に示す計算は, 距離の近さではなくむしろ自分自身の長さで捉えることができる。従って本論文では自身の距離を 0 として定義した。同様のことは等しい値を持つ異なる 2 つの灰色ベクトル間でも生じる。

3.4 灰色関連度の性質

局所型 GIGO 灰色関連度は以下の性質を持つ。

規範性 $0 \leq \otimes\gamma_{0i} \leq 1, (0 \leq \underline{\gamma}_{0i} \leq \bar{\gamma}_{0i} \leq 1)$

離反性 $\bar{\Delta}_{0i} = \max_{v_i}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{0i})\} \Leftrightarrow \underline{\gamma}_{0i} = 0$

接近性 $\underline{\Delta}_{0i} = \min_{v_i}\{\text{mig}(\otimes\Delta_{0i})\} \Leftrightarrow \bar{\gamma}_{0i} = 1$

同様に全体型 GIGO 灰色関連度は以下の性質を持つ。

規範性 $0 \leq \otimes\gamma_{ij} \leq 1, (0 \leq \underline{\gamma}_{ij} \leq \bar{\gamma}_{ij} \leq 1)$

離反性 $\bar{\Delta}_{ij} = \max_{v_{i,j}}\{\text{mag}(\otimes\Delta_{ij})\} \Leftrightarrow \underline{\gamma}_{ij} = 0$

同一性 $\otimes\gamma_{00} = \otimes\gamma_{ii} = 1$

対称性 $\otimes\gamma_{ij} = \otimes\gamma_{ji}$

灰色関連マトリクスについては以下の性質を備えている。

定理 2. 灰色関連マトリクス Γ は対称行列である。

証明. 全体型灰色分析の性質である対称性から, 灰色関連マトリクスは対称行列となる。□

4. 例題

本節では 3 つの例題を示し, GIWO および GIGO 灰色分析の特徴について議論する。用いたデータはいずれも区間値を含む。GIWO では本論文にて示した *Mid*, *Mag*, *Mig*, *Dia* および *Rad* 関数を用いる。そして, 白化した値にミンコフスキー距離型灰色分析を適用する。

4.1 高度医療機器配置問題

4.1.1 データ内容

表 1[15] は 47 都道府県において MRI (Magnetic Resonance Imaging) 装置の設置および運用状況を表している。施設数, 装置数, 技師数および運用事例数を属性とする。

大山 [15] は各都道府県の医療環境が公平に配置されているかを調査した。筆者らは 47 都道府県を 11 の地域に再編集する。そして北海道と沖縄を除く各地域はそこに属する都道府県のうち最小値と最大値を区間灰数の端点とする。北海道のデータを参照ベクトルとして他地域の環境を灰色分析で解析する。

4.1.2 分析結果

GIWO 灰色分析の結果を表 2 に示す。地域名の順位は灰色関連度の降順に整列されている。*Mid* は端点の中心, すなわち平均値を用いるため, GIWO

表 1 高度医療機器配置データ [15]

No.	Region	Endpoint	Institutions	Equipments	Engineers	Cases
	Hokkaido	Upper	84	90	1658	5160
		Lower	84	90	1658	5160
1	Tohoku	Upper	25	28	447	858
		Lower	12	12	217	478
2	Kanto	Upper	106	118	3027	8012
		Lower	10	10	164	303
3	Shinetsu	Upper	27	29	553	1270
		Lower	27	27	413	815
4	Hokuriku	Upper	26	26	362	922
		Lower	18	19	200	631
5	Tokai	Upper	80	86	1438	3392
		Lower	18	18	345	782
6	Kinki	Upper	105	114	2383	5051
		Lower	15	15	228	467
7	Chugoku	Upper	37	37	548	1663
		Lower	7	7	121	302
8	Shikoku	Upper	28	29	310	912
		Lower	11	11	205	477
9	Kyusyu	Upper	52	52	1182	2142
		Lower	11	11	138	395
10	Okinawa	Upper	18	18	229	516
		Lower	18	18	229	516

データ出所：大山 [15] によるデータを基に筆者らが再編集

は各地域の平均的な環境の調査を行った。表 2 によると、関東地方の平均的な環境は北海道と同じ規模であることがわかる（ただし、面積は北海道の方が大きい）。

Mag は最大値を使って各地域の環境を調べる。東海地方のある県における施設数、機材数、技師数および事例数は、北海道のそれらと類似している。*Mig* はまた最小値を基に調べる。そして、信越地方のある県の環境は北海道と最も類似していることがわかる。これは、信越地方の水準が高いと解釈できる。*Dia* は最大値と最小値の差、*Rad* はその半分であり、本適用例では格差を意味する。関東は最も格差の大きい地域であり、沖縄は北海道と同様に 1 つの県しかないため、格差は考慮されていない。

GIGO 灰色分析の結果は図 7 に示す。各々の地域を中心点（グラフ中の \times ）で降順整理すると図 8 が得られる。東海地方の環境は、北海道のそれと同じくらいである。しかし、東海地方の格差（*Dia*）による GIWO の結果が 8 位が大きいため、灰色関連度の直径が長い。信越地方の灰色関連度は沖縄の次に短い；そしてそれは *Dia*、*Rad* の GIWO の結果と類似している。

4.2 日本プロ野球チームの評価

表 3 は、日本プロ野球セ・リーグ 6 チームの 2000～2004 年の成績を表している。各々のチームは表 4 に示す 13 の項目で評価し、最高の年の成績と最低の年のものが端点となる。参照ベクトルは各年の優勝チームの成績である。提案アルゴリズムは、常に優勝争いを行う能力があるチームを調査する。*Mid* は平均的な成績、*Mag* は ERA と Rank を除く最高の成績、*Mig* も同様に最低の成績について解析す

表 2 高度医療機器配置問題の GIWO の結果

Rank	<i>Mid</i>	<i>Mag</i>	<i>Mig</i>	<i>Dia</i>	<i>Rad</i>
1	Kanto	Tokai	Shinetsu	Okinawa	Okinawa
2	Kinki	Kinki	Tokai	Shinetsu	Shinetsu
3	Tokai	Kyusyu	Hokuriku	Hokuriku	Hokuriku
4	Kyusyu	Kanto	Okinawa	Tohoku	Tohoku
5	Shinetsu	Chugoku	Kinki	Shikoku	Shikoku
6	Chugoku	Shinetsu	Tohoku	Chugoku	Chugoku
7	Hokuriku	Shikoku	Shikoku	Kyusyu	Kyusyu
8	Tohoku	Tohoku	Kyusyu	Tokai	Tokai
9	Shikoku	Hokuriku	Kanto	Kinki	Kinki
10	Okinawa	Okinawa	Chugoku	Kanto	Kanto

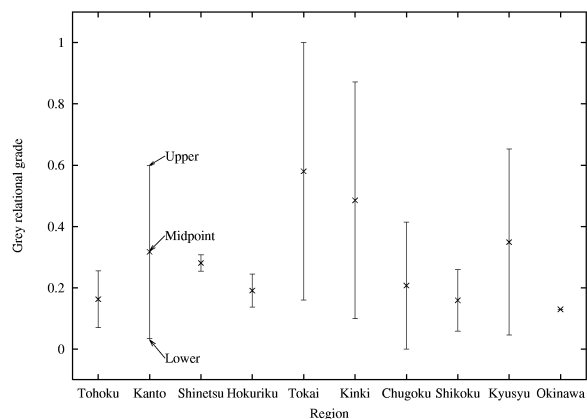


図 7 高度医療機器配置問題の GIGO の結果

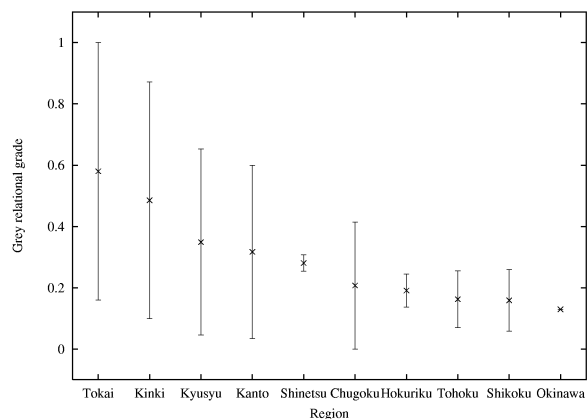


図 8 関連度の降順整理による GIGO の結果

る。*Dia* と *Rad* は最高と最低の格差を表す。

表 5 によると、ヤクルト・広島・巨人はいずれの解析結果において上位にいる。これらのチームは常に優勝争いに加わる可能性を持っている。特に、広島は最近 5 年間で一度も優勝していないが、格差が小さいということは常に安定した能力を保持していると解釈できる。図 9 に示す GIGO の結果によると

表 4 プロ野球チームの評価項目

	I1	Batting average
	I2	Amount of score for one baseball season
Attack	I3	Number of single hit
	I4	Number of two-base hit
	I5	Number of three-base hit
	I6	Number of home-run
	I7	Number of base stealing
	I8	Earned run average (ERA)
	I9	Number of got strikeout
Defence	I10	Number of games saved
	I11	Number of games pitched the whole game
	I12	Number of games shut out the opposing team
Other	I13	Rank (1-6)

表 5 プロ野球チームを GIWO で解析した結果

Rank	Mid	Mag	Mig	Dia	Rad
1	Swallows	Hanshin	Swallows	Toyo-Carp	Toyo-Carp
2	Toyo-Carp	Toyo-Carp	Toyo-Carp	Bay-Stars	Bay-Stars
3	Giants	Giants	Giants	Giants	Giants
4	Hanshin	Swallows	Dragons	Swallows	Swallows
5	Dragons	Dragons	Bay-Stars	Dragons	Dragons
6	Bay-Stars	Bay-Stars	Hanshin	Hanshin	Hanshin

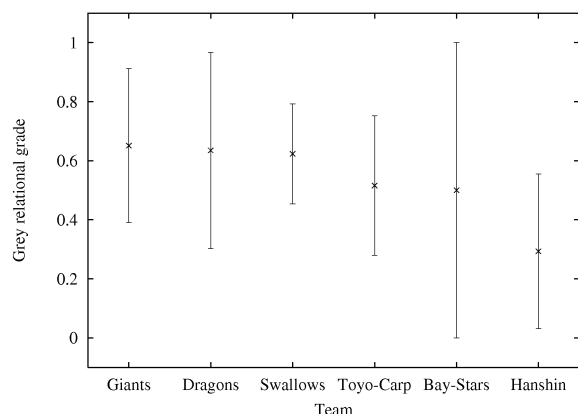


図 9 プロ野球チームの GIGO の解析結果

横浜の灰色関連度の範囲は [0,1] となっており、能力が未知である。ヤクルト・広島・巨人の関連度はグラフ中の他のチームのそれらより高い位置にあり、かつ狭い。すなわち、成績の格差が少ないことを表している。

4.3 景観画像の類似検索

著者ら [16] は以前 図 10 に示す 9 枚の景観画像に対する印象を測定した。各々の画像は表 6 に示すキーワード「暖かい—暖かくない; さわやかな—さわやかでない; 開放的な—開放的でない; 成熟した—成熟していない; 静寂な—静寂でない」で評価した。値が 100 に近いほど、そのキーワードについて肯定的な印象を持っており、逆に 0 に近ければ

表 6 景観画像の印象測定データ

	Endpoint	Warm	Fresh	Open	Active	Ripe	Silent
Key	Upper	87	98	100	92	100	100
	Lower	0	61	55	5	8	37
No. 1	Upper	89	78	78	94	76	89
	Lower	16	11	0	15	15	11
No. 2	Upper	69	100	100	83	72	92
	Lower	0	37	57	5	17	12
No. 3	Upper	100	100	100	100	100	83
	Lower	0	56	57	24	0	0
No. 4	Upper	100	100	100	98	81	76
	Lower	58	32	24	30	20	0
No. 5	Upper	61	76	88	43	100	100
	Lower	0	0	0	0	27	68
No. 6	Upper	80	93	91	92	91	86
	Lower	12	17	15	0	0	9
No. 7	Upper	70	92	100	100	67	100
	Lower	0	0	10	13	0	0
No. 8	Upper	28	78	100	86	100	100
	Lower	0	0	0	0	0	20

表 7 景観画像の GIWO 解析結果

Rank	Mid	Mag	Mig	Dia	Rad
1	No.2	No.6	No.2	No.3	No.3
2	No.3	No.3	No.3	No.2	No.2
3	No.6	No.4	No.6	No.6	No.6
4	No.7	No.2	No.1	No.1	No.1
5	No.4	No.7	No.8	No.4	No.4
6	No.1	No.1	No.7	No.5	No.5
7	No.8	No.5	No.4	No.7	No.7
8	No.5	No.8	No.5	No.8	No.8

否定的な印象を表している。提案アルゴリズムは表 6 で与えられている “Key” と近い印象の画像を調べる。本適用例は、人間の主観性による情報検索特に類似性検索または感性情報検索をシミュレートする。

GIWO 灰色分析の結果は表 7 に示す。Mid は印象測定の結果、平均的な印象を表す値を基に類似検索を行う。Mag は最も肯定的な印象を表す値から検索し、Mig は最も否定的な値である。Dia と Rad は格差またはばらつき (統計の分散とは異なる) について調べている。GIWO 検索結果としての立候補画像は、ほとんど画像番号 2,3 または 6 である。

GIGO 灰色分析の結果を図 11 に示す。画像 1,4 または 5 は関連度の上端が 1 に近い; しかし GIWO の結果ではどちらかという下位にある。画像 2,3,6 の関連度はグラフの中央に位置するが、それらの直径は他の画像よりも狭い。

5. おわりに

本論文は、一般化灰色分析の概念とアルゴリズムを提案した。ミンコフスキー距離を計算するため

表 3 プロ野球セ・リーグの過去 5 年間の成績

No.	Team	Endpoint	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13
	Reference	Upper	0.287	728	1384	242	32	203	115	3.86	1108	40	17	14	1
		Lower	0.263	623	1199	201	7	111	50	3.04	896	27	6	9	1
1	Giants	Upper	0.2749	738	1332	219	18	259	71	4.5	1123	36	26	14	3
		Lower	0.262	654	1199	182	6	186	25	3.04	981	18	10	5	1
2	Tigers	Upper	0.287	728	1384	242	32	142	115	4.08	1112	31	21	15	6
		Lower	0.243	467	1107	147	16	90	53	3.41	866	23	7	8	1
3	Bay-Stars	Upper	0.279	640	1324	213	19	194	80	4.8	973	33	19	13	6
		Lower	0.24	472	1124	192	5	94	46	3.747	814	23	3	3	3
4	Dragons	Upper	0.274	623	1299	238	24	137	95	4.19	1035	38	18	14	5
		Lower	0.253	483	1167	200	14	98	53	3.19	932	32	6	11	1
5	Swallows	Upper	0.283	683	1369	236	24	181	71	4.7	1035	42	8	13	4
		Lower	0.263	554	1217	181	10	137	36	3.39	896	32	4	3	1
6	Toyo-Carp	Upper	0.276	662	1335	219	21	187	114	4.75	1086	33	28	8	5
		Lower	0.256	543	1178	182	11	150	50	3.82	844	26	13	4	4

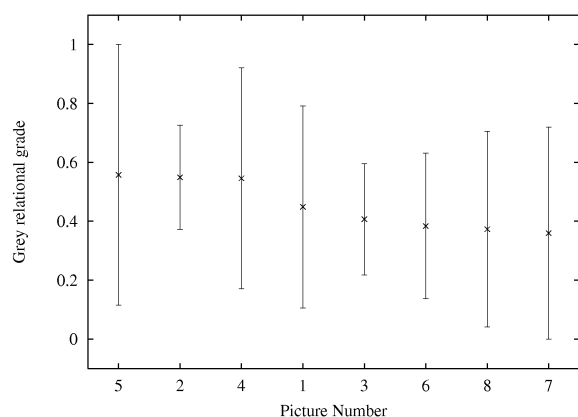


図 11 景観画像検索の GIGO の分析結果

に 本論文ではいくつかの区間解析における算術演算を既存の区間灰数における算術演算に追加した。GIWO・GIGO という新しい灰色分析アルゴリズムを提案し、WIWO と名付けた伝統的な灰色分析との違いを比較した。さらに提案したアルゴリズムの特性を議論するために、3つの例題を示した。区間灰数を含むデータ解析には、本論文で提案したアルゴリズムが多面的に解析できることを示した。

GIWO は白化する方法を選択することにより、様々な分析結果が得られることを実験にて確認した。GIGO は灰色関連度を区間灰数としてその範囲を推定する。本論文の実験では、灰色関連度の区間が狭いほど、白化した灰色関連度が 1 に近づく傾向にあることを確かめた。

今後はさらに議論を必要とする。特に、灰色関連度の区間の物理的意味について、関連度の計算は与えられた区間の端点だけで十分か、1つの領域が他方を含む時の関連度計算はどうなるか、といったことが挙げられる。

参考文献

- [1] J. L. Deng, Grey Systems, China Ocean Press, Beijing, 1988.
- [2] K. L. Wen, Grey Systems: Modeling and Prediction, Yang's Scientific Research Institute, Tucson, 2004.
- [3] M. Nagai and D. Yamaguchi, Elements on Grey System Theory and Applications, Kyoritsu Shuppan, Tokyo, 2004.
- [4] C. C. Wong and H. R. Lai, "A New Grey Relational Measurement," The Journal of Grey System, Vol.12, No.4, pp.341-346, 2000.
- [5] D. Yamaguchi, G.D. Li and M. Nagai, "New Grey Relational Analysis for Finding the Invariable Structure and its Applications," Journal of Grey System, 2005.
- [6] X. P. Xiao and X.Q. Li, "Grey Relational Interval Analysis and its Application," The Journal of Grey System, Vol. 9, No. 4, pp.357-363, 1997.
- [7] F. Bierbaum and K. P. Schwiertz, "A Bibliography on Interval-Mathematics," Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 4, No. 1, pp.59-86, 1978.
- [8] J. Garloff and K. P. Schwiertz, "A Bibliography on Interval Mathematics (Continuation)," Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol.6, No. 1, pp.67-79, 1980.
- [9] D. Yamaguchi, G.D. Li, K. Mizutani, T. Akabane, M. Nagai and M. Kitaoka, "Decision Rule Extraction and Reduction Based on Grey Lattice Classification," Proc. ICMLA'05, 2005.
- [10] R. E. Moore, Reliability in Computing, Academic Press, San Diego, CA, 1998.

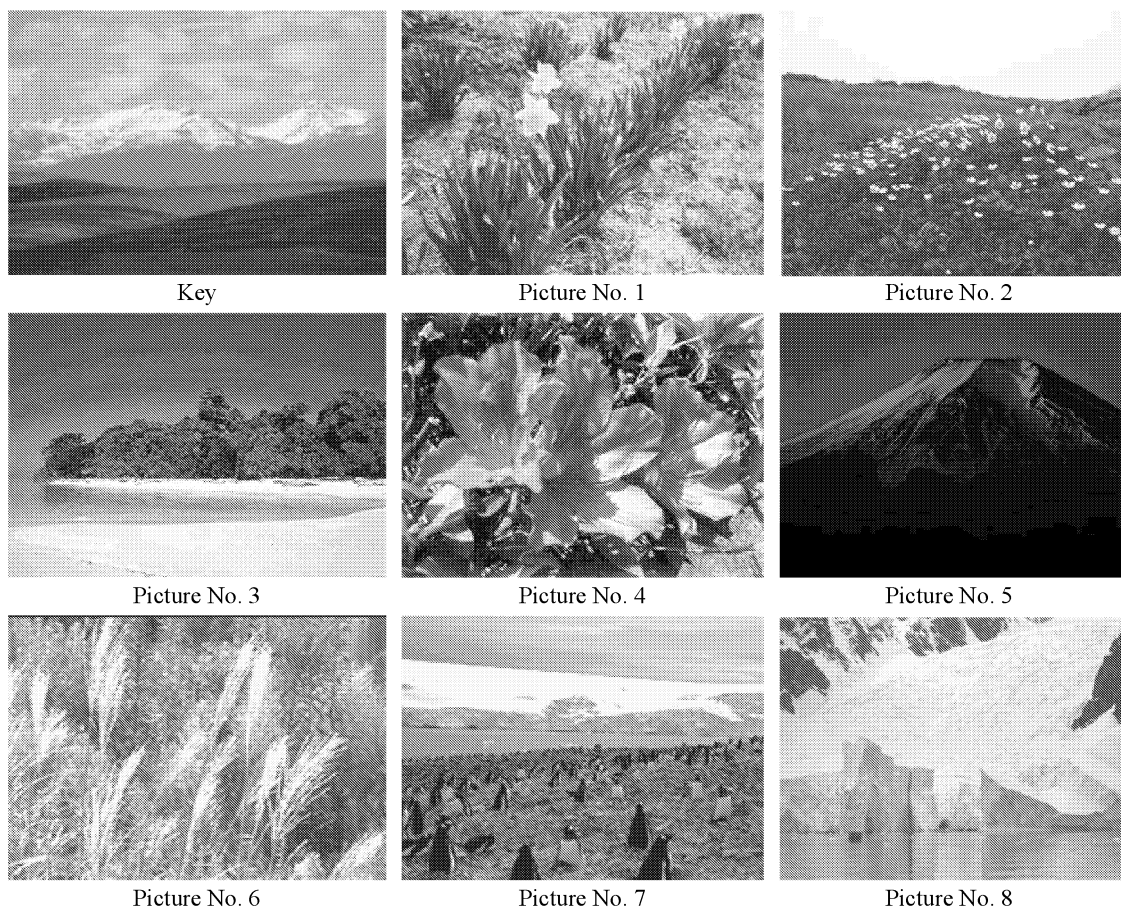


図 10 感性情報検索に使用した景観画像の例

- [11] T. Sunaga, "Theory of an Interval Algebra and its Application to Numerical Analysis," RAAG Memories, Vol.2, pp.29-46, 1958.
- [12] E. Hansen and G. W. Walster, Global Optimization Using Interval Analysis (Second Edition), Marcel Dekker, New York, 2004.
- [13] W. Pedrycz (Ed.), Granular Computing: An Emerging Paradigm, Physica-Verlag, 2001.
- [14] X. Jun, Grey System Theory to Hydrology, Huanzhong University of Science and Technology Press, Wuhan, 2000 (in Chinese).
- [15] 大山達雄, 医療システムと OR の高度医療機器配置に関する地域格差分析と最適配置モデル分析 オペレーションズ・リサーチ vol.44, no.7, pp.361-364, 1999.
- [16] D. Yamaguchi, T. Akabane, K. Mizutani, G.D. Li, M. Nagai and M. Kitaoka, "Automatic measurement system and quantization method of kansei information based on grey theory," Jpn. J. JSKE (accepted).