

修正乗法型選好強度モデルによる河川景観の定量評価の試み

Quantitative evaluation of river landscape by using improved multiplicative preference model

江上大介* 関根雅彦** 浮田正夫**
Daisuke EGAMI* Masahiko SEKINE** Masao UKITA**

ABSTRACT : The purpose of this study is to apply the improved multiplicative preference model to river landscape evaluation. This model was at first developed to describe fish preference. In course of the fish study, we found that the model could be applied to human preference. In this study, we attempt to evaluate human preference for river landscape based on revetment vegetation and slope. At first, we decide preference for five levels of vegetation and slope by using pair comparison of montage photos; i.e. $5C2 \times 2 = 20$ comparisons. Then we determine weight values for vegetation and slope to obtain total preference equation in multiplicative form (for this, one to three comparisons are needed). We also conduct 300 ($25C2$) pairs of comparison to obtain truth data. We choose AHP method, which is one of the most popular pair comparison methods, for control model. The new model showed a better representation of truth data compared to AHP. It has three strong points: First, it can greatly reduce the number of pair comparison (from 300 to 23). Second, it is not required to change the values of the preference parameters when a new factor that influences landscape preference is introduced.

KEYWORDS: river landscape evaluation, pair comparison, preference equation, AHP

1. はじめに

近年、河川事業において、治水・利水のみならず、河川の自然環境としての価値が再認識され、川との共生への動きが各地で行われるようになった。その一例としては、生物の棲息空間として川が持っている価値を再評価し、それを還元する河川工事、建設省が取り組んでいる「多自然型川づくり」等が挙げられる。このように多様化した河川を評価するには、人間の感性と河川景観との関係を定量的に明らかにしていく必要がある。

本稿では、河川景観を評価するモデルとして、一対比較の手法を取り入れた修正乗法型選好強度モデルを提案した。この修正乗法型選好強度モデルは魚の環境選好性¹⁾を表現するために著者らが案出したものである。

一般に景観評価手法として最もよく用いられるSD法²⁾は、一枚の写真に対して絶対評価を行うものであるが、一対比較法は、2枚の写真の順位付けを行う相対評価である。一般に、絶対評価より相対評価の方が容易に順位付けを行うことができることが知られている³⁾。このことは、筆者らの実施した魚の選好性実験において、物言わぬ魚に環境の好悪を絶対的に判断させることは不可能であるが、2つの環境を並べて選択させるという相対評価なら可能であったことから簡単に推察されるであろう。これが本研究で筆者らが相対比較である一対比較法を採用しようとした理由である。

しかし一方で、一対比較法は対象となる刺激数が多くなると比較という判断数が急激に増加し、被験者の負担が大きすぎるという欠点がある³⁾。本稿で論じる修正乗法型選好強度モデルは、この欠点をカバーして一対比較の判断数を削減できる。同様の特徴を持つ手法としては、AHP法⁴⁾が広く利用されている。本稿の目的は、修正乗法型選好強度モデルとAHP法のモデルとの精度比較を行い、修正乗法型選好強度モデルの優位性を明らかにすると同時に、河川景観の定量評価の枠組みを示すことである。

*山口大学大学院理工学研究科博士前期課程 School of Engineering, Yamaguchi Univ.

**山口大学大学院理工学研究科 School of Engineering, Yamaguchi Univ.

2.河川景観評価モデル

景観評価は「評価基準」を合成したフォトモンタージュを作成し、それらを「評価項目」として一対比較することで行う。

- 評価基準：本稿の目的はモデル評価にあるので、まず評価基準として、「護岸植生」と「護岸傾斜」を選択した。
- 評価項目：河川を評価する項目は「美しさ」、「自然さ」、「好き」とした。ここでは、河川を評価する上で重要と思われる形容詞を挙げているが、個人の意識判断として、河川計画者のコンセプト（例、自然豊かで親水性のある川等）に沿った比較判断などに対しても有用であると考えている。

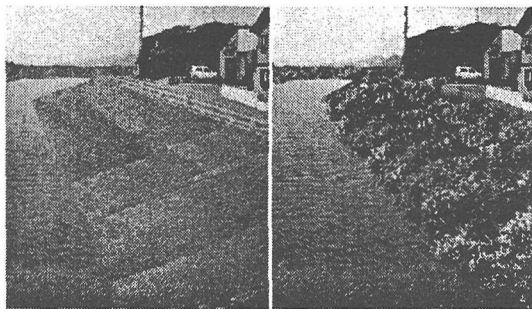
[illegible]

図-1 アンケート例 (左: 芝生×10/25、右: 草長×10/20)

実際の河川景観評価は、アンケートの実施より行った。表-1にアンケートの概要を示す。被験者は、研究室学生ならびに関係者 30 人（男性 24 人、女性 6 人）である。図-1に示すように写真を 2 枚並べ、表-2に示す比較値で回答してもらった。回答方法はインターネットのホームページを利用し図-1に示す白抜きのマル印をクリックしてもらった。以下に具体的な評価方法について記す。

2.1 河川景観構造の階層化

本稿では一対比較数を削減する方法として階層化を用いた。図-2 にモデルの階層構造を示す。一層の「評価基準」を「護岸の植生」、「護岸の傾斜」とし、二層にそれぞれ植生を5段階、傾斜を5段階とし河川景観を階層化した。河川景観の階層化に際しては、それぞれの「評価基準」の独立性と従属性を考え、いかに的確に階層化できるかが重要となる。

ここでは、それぞれ二層5段階を組み合わせた25枚の写真が作成される。本来、25枚の写真全てを一对比較して、組み合わせ効果を含んだ形での評価が望ましい。

2.2 個々の評価基準に対する選好強度式の作成

護岸植生の評価は護岸傾斜を固定した植生 5 段階の合成写真の対比較により算出する。算出された値は、植生の選考強度とし選好強度式を作成する。傾斜についても同様に行う。ここまでの過程は、修正選好強度モデル、AHP 法を用いたモデルとも同様である。

2.3 評価基準間のウェイト値の算出ならびに統合化

次に評価基準である「護岸傾斜」と「護岸植生」間のウェイト値の算出を行う。この評価基準間のウェイト値と選好強度を統合し、総合ウェイト値である写真の評価値を算出する。評価基準間のウェイト値と総合ウェイト値の算出方法はモデルによって異なるため、以下で詳しく述べる。

(1) AHP モデル

AHPでは階層ごとに「評価基準」（本稿では景観要素）の一对比較を行い、さらに代替案を評価基準ごとに一对比較することで最終的に代替案のウェイト値を算出する。本稿における代替案は作成された合成写真である。本稿のAHPモデルでは、代替案は「評価基準」である景観要素を組み合わせ

表-1 アンケートの概要

調査対象	研究室学生ならびに関係者
調査規模	30人 回答率100%
調査時期	1999年2月～4月
調査方法	ホームページへの回答
評価基準	「護岸植生」、「護岸傾斜」
評価項目	「美しさ」、「自然さ」、「好き」

表-2 一对比較値

一対比較値	定義
1	両者が同じくらい重要
3	前者が若干重要
5	前者が重要
7	前者が明らかに重要
9	前者が絶対に重要
中間値	補助的に用いる
逆数	後者から前者を見た場合

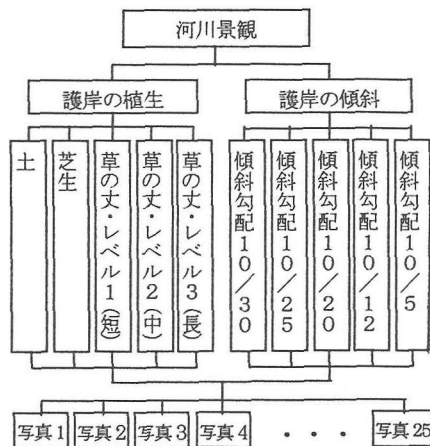


図-2 モデルの階層構造

たものなので、代替案の評価基準ごとの一対比較は行っていない。

また、通常、AHP においては、幾層でも階層化できるが、評価基準を組み合わせた写真を代替案にしている特性上、2 層しか表現できず、厳密な AHP 法ではないが、評価基準間のウェイト値、総合ウェイト値を AHP 法に準じて算出している。

「評価基準」間のウェイト値の算出は、基本的には一対比較で行う。ただし、「護岸植生」、「護岸傾斜」を合成写真で比較できないので、アンケートにおいて、どちらが重要であるか答えてもらい算出した。具体的には、植生と傾斜では、どちらが美しさを評価するときに効いてくるのか、その概念で直接判断してもらう。この概念の比較で、正確なウェイト値が算出できるかが、AHP モデルの問題点である。

次に総合ウェイト値の算出を次式に示す。統合化の式は加法形である。

$$P^* = \sum_{j=1}^J W_j P_j \quad (1)$$

P^* : 総合ウェイト値 (写真) W_j : 評価基準間のウェイト値 P_j : 評価基準の選好強度

具体的には、写真 1 の構成要素を植生が「土」で、護岸傾斜が「勾配 10/30」とすると、総合ウェイト値は以下である。

総合ウェイト値 (写真 1) = 植生ウェイト × 土の選好強度 + 傾斜ウェイト × 傾斜勾配 (10/30) の選好強度

(2) 修正乗法型選好強度モデル

総合ウェイト値の算出を次式に示す。統合化の式は乗法形である。

$$P^* = \prod_{j=1}^J (P_j)^{\frac{W_j}{W_{\max}}} \quad (2)$$

P^* : 総合ウェイト値 (写真) W_j : 評価基準間のウェイト値 P_j : 評価基準の選好強度 $W_{\max}$: 評価基準で最大のウェイト値

次に評価基準間のウェイト値であるが、 R を左右の写真の比較値として、 P_i (i = (右、左)) を左右の選好強度の値とすると

$$R = \frac{P_{\text{右}}}{P_{\text{左}}} \quad (3)$$

となる。(2) 式と (3) 式を用いて「護岸傾斜」と「護岸植生」間のウェイト値を求める式を作成すると、

$$R_{\text{植生・傾斜}} = \frac{\left(\frac{P_{\text{植生・右}}}{P_{\text{植生・左}}} \right)^{\frac{W_{\text{植生}}}{W_{\max}}} \left(\frac{P_{\text{傾斜・右}}}{P_{\text{傾斜・左}}} \right)^{\frac{W_{\text{傾斜}}}{W_{\max}}}}{\left(\frac{P_{\text{植生・右}}}{P_{\text{植生・左}}} \right)^{\frac{W_{\text{植生}}}{W_{\max}}} \left(\frac{P_{\text{傾斜・右}}}{P_{\text{傾斜・左}}} \right)^{\frac{W_{\text{傾斜}}}{W_{\max}}}} \quad (4)$$

と表せる。 $R_{\text{植生・傾斜}}$ は、図-3 に示すように任意の植生と傾斜を組み合わせた写真、左右 2 枚の一対比較により求まる。この評価基準 (植生と傾斜) の組み合わせ、ならびに写真の組み合わせについては、その妥当性を含めて後述

する。 $P_{\text{植生・右}}$ 、 $P_{\text{傾斜・右}}$ は右の写真を構成する、それぞれの植生、傾斜の選好強度である。左も同様である。これらの値は、実際のアンケートから求められており、 $W_{\max} = W_{\text{植生}}$ であるか、 $W_{\max} = W_{\text{傾斜}}$ であるかは、直ちに判断できないが、最大 2 回の試行錯誤により評価基準間のウェイト値を求めることができる。

何故、このようなウェイト値の求め方を提案したかについて述べると、このモデルは魚の選考性を評価するためのもので、直接、魚に評価基準はどちらが良いか聞くことはできないため、この算出方法を考案した。また、人においても、評価基準を概念的に聞くよりも、具体的に、写真で判断する方が明確であり、より的確な評価基準間のウェイト値の算出ができると考えている。

また、この修正選好強度モデルの式は

- 新たに「評価基準」を付け加えても、それ以前に求めた選好強度式や評価基準間のウェイト値を変更する必要がない。
- 選好強度式と評価基準間のウェイト値を別々に定めることができる。

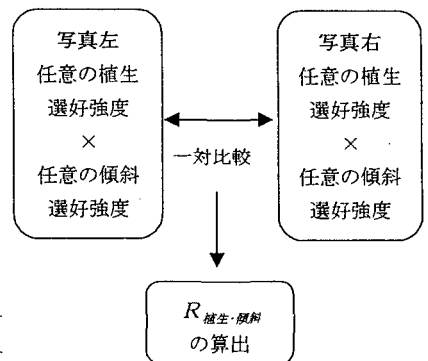


図-3 評価基準間のウェイト値算出方法

という特徴を持っている。このため、多様性の高い河川景観の評価において、既存のデータを使用しつつ、新たに「評価基準」を加えることが可能である。

具体的に、写真1の構成要素を植生が「土」で、護岸傾斜が「勾配10/30」とすると、写真1の総合ウェイト値は以下である。

総合ウェイト値（写真1）＝土の選好強度 $\times$ （植生ウェイト $\div W_{max}$ ） $\times$ 傾斜勾配（10/30）の選好強度 $\times$ （傾斜ウェイト $\div W_{max}$ ）

（3）全ての対比較による景観評価（全評価値）

本稿のモデルの精度を確認するため、今回作成した合成写真25枚（植生5段階 $\times$ 傾斜5段階）について、全ての組み合わせでの対比較を行った。対比較数は全ての組み合わせのため300対となる。こうして、求めた写真25枚のウェイト値を河川景観評価における真の値とし、このウェイト値がモデルにおける、それぞれの総合ウェイト値ということになる。以下全ての対比較による景観評価値を全評価値と称す。

3. 修正乗法型選好強度モデルにおける評価基準間のウェイト値の算出方法に関する考察

先ほど図-3に示したように、どの評価基準（植生と傾斜選好強度の選択）ならびに写真の組み合わせが、ウェイト値の算出に最も適しているかが大きな問題となった。以前、著者らが行った魚の研究では、魚の実験という、時間や作業効率といった制約性により、全ての組み合わせについての対比較はできなかった。そのため評価基準の選好強度から最も高いものと低いものを選択し、それを求めたい基準間で組み合わせ（高い $\times$ 低い）対比較を行った。これは、好きな条件と嫌いな条件で比較したとき、判断に評価基準のウェイト値が最も反映していると仮定したためである。そこで、全ての写真間についての対比較データより、最適な条件ならびに魚の実験の仮定について検討を行った。

まず、上記の仮定をもとに、各個人ごとに25枚の写真（植生と傾斜を組み合わせる）について植生と傾斜の選好強度の差を算出し、その差により、差の小さいものから写真1～25と規定した。次に全ての写真の組み合わせについて評価基準のウェイト値を求めて総合ウェイト値を算出し、モデルの精度を確かめた。モデルの精度は、25枚の写真の総合ウェイト値と、「全評価値」での総合ウェイト値との各誤差を合計したもので、この数値が低いほど、モデルの精度が良い。なお、あらかじめ以下の2条件の場合、経験的にウェイトが算出できない、または妥当でないウェイト値が算出されることが分かっている。

- 対比較する写真に同じ「護岸傾斜」もしくは、「護岸植生」が含まれている場合。
- 対比較する写真が両方とも「護岸傾斜」の方が「護岸植生」よりも評価が高かった場合、もしくはその逆。

以上の2条件についてはあらかじめ算出結果を削除し、各個人ごとに、精度を求めた。図-4、図-5に結果を示す。図-4は、写真25枚のマトリックスで構成されており、それぞれの写真の組み合わせを表している。この解析結果は、評価項目「美しさ」のときのデータを使用している。図-4は、比較した写真間で、ウェイト値が算出された人の割合で、ウェイト値が求めなくても良い条件の中で、どの程度の割合でウェイト値が算出できたかを表している。その結果、選好強度の差が大きい写真同士士の組み合わせほど、高い確率でウェイト値が算出されており、妥当な結果となった。図-5は各個人の誤差を平均化したものである。選好強度の差が小さい写真同士では、ほとんどの人でウェイト値が算出できず不適当で、差の大きい写真の組み合わせに

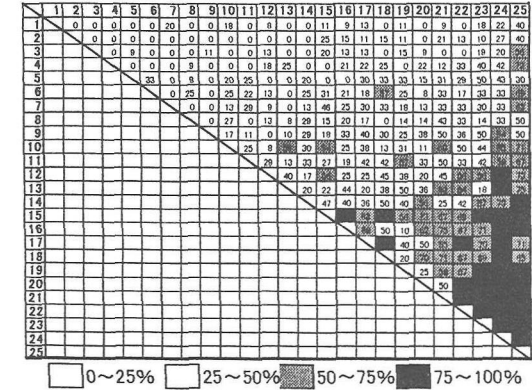


図-4 評価基準間のウェイト値の算出割合

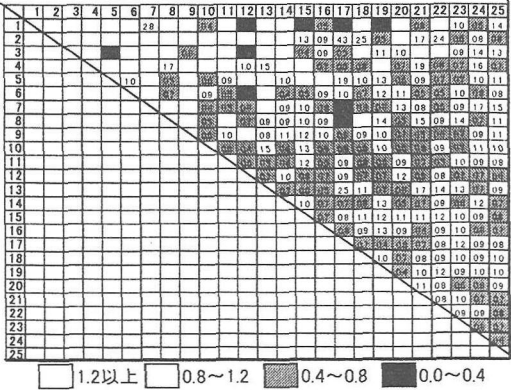


図-5 算出ウェイト値によるモデルの精度

注目してみると、差が大きいほうがより精度が良くなる結果となった。他の評価項目「美しさ」、「好き」でも同様の結果が得られた。

以上の解析結果より選好強度の差が大きい写真の組み合わせほど、適切であると考えられ、修正選好強度モデルでの総合ウェイト値の算出方法は以下のように定義した。

- 比較する写真 2 枚の選好強度の差の合計が大きいもの上位 3 組から、算出されたウェイト値の算術平均を「評価基準」間のウェイト値とする。
- 複数の評価基準間のウェイト値は、特定した一つの評価基準を対象として、その他の評価基準とのウェイト値を算出し、全体で正規化し、全体の評価基準間のウェイト値を算出する。これについては、基本とした一つの評価基準により、定められたウェイト値が全体として有効であるか、さらなる考察が必要と考えている。

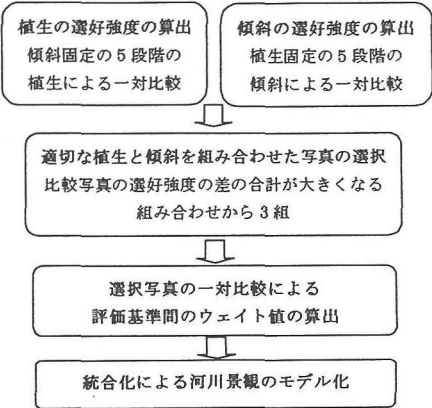


図-6 修正乗法型選好強度モデルの作成方法

図-6 に修正乗法型選好強度モデルを用いた河川景観の定量評価の枠組みを示す。このモデルにより、300 対（写真 25 枚から 2 枚を選択する組み合わせ）の比較が必要だった景観評価が、護岸植生 10 対（5 枚の写真から 2 枚を選択する組み合わせ）、護岸傾斜 10 対、更に評価基準間のウェイト値を求めるための 3 対、計 23 対の一対比較で済み、被験者の負担を減らすことができる。

4. モデル精度の検討

AHP モデル、修正選好強度モデルについて、精度の検討を行った。検討結果を表-3 に示す。精度が良かった人数とは、個人ごとに総合ウェイト値の算出を行い、どちらのモデルの方がより精度が良かったかをカウントしたものである。総合ウェイト値の誤差は、個人データの平均値である。また、ある人の各モデルについての総合ウェイト値より、作成した河川景観モデルを図-7 に示す。この結果、修正選好強度モデルの方がより高い精度を示し、優位性を明らかにできた。AHP 法は代替案の順序を決めるもので、統合化の式も加法形であり、値の再現といった問題に適していないのではないか、そのため、我々の修正選好強度モデルのように乗法形の式のほうがよりよく値を再現できたのではないかと考えられる。その結果、図-7 に示すように AHP では総合ウェイト値が平均化され最高値と最小値の差が再現できず、修正選好強度モデルの方がより良く全評価値を再現できた。また、修正選好強度モデルの妥当性が証明されたことにより、このモデルにおける評価基準間のウェイト値の算出方法にも、一定の理解が得られるものと考えている。

表-3 再現性の検討結果

AHPモデル		
評価項目	精度が良かった人数(人)	総合ウェイト値の誤差(平均値)
美しさ	8	1.23
自然さ	13	0.90
好き	7	1.33

修正乗法型選好強度モデル		
評価項目	精度が良かった人数(人)	総合ウェイト値の誤差(平均値)
美しさ	22	0.76
自然さ	17	0.65
好き	23	1.00

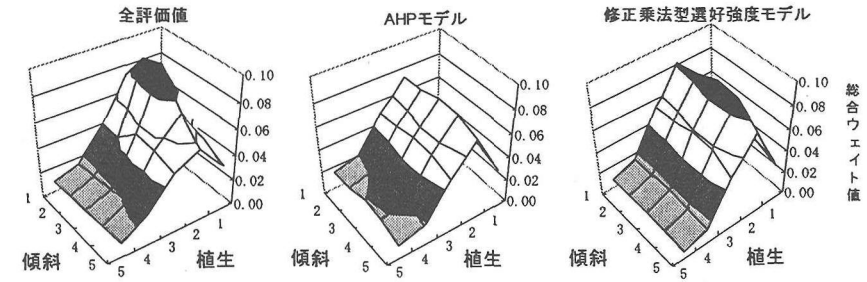


図-7 河川景観モデル図:美しさ(植生は1から5にかけて高くなる、傾斜は1から5にかけて急となる)

5. 修正乗法型選好強度モデルを用いた景観評価

図-8、図-9、図-10 にそれぞれの評価項目ごとの選好強度を示す。いずれも評価項目ごとに選好強度（植生と傾斜を合わせて）のクラスター分析を行い、タイプ分けを行った。特徴的な傾向では、「美しさ」において緩傾斜を重要視するタイプと急傾斜を重要視するタイプに分かれたこと、「美しさ」、「好き」の選好強度の傾向が似ており、美しいと判断された川が、好まれる

傾向にあることが分かった。また、表-4 に植生と傾斜のウェイト値を示す。これは、クラスター分析によって分かれたタイプごとに平均値を出したものである。この結果、いずれの評価項目、タイプとも植生のウェイト値が高くなった。図-11に「美しさ」の選好強度により作成した選好強度式を示す。これは選好強度が平均 av 、標準偏差 sd の正規分布に従うものとして作成したものである。この他の、選好強度式については、まだ、景観要素を網羅しておらず、総合的に選好強度をまとめきれていない（クラスター分析等）ので、本稿では、今後の検討課題としておきたい。

6. おわりに

- 本研究で得られた知見をまとめると、
- 修正選好強度モデルにおける評価基準間のウェイト値の算出方法を確立できた。
 - 修正選好強度モデルの妥当性を証明できた。
 - 河川景観における「護岸傾斜」と「護岸植生」について定量評価できた。

今後はこの修正選好強度モデルを用いて、既存のデータに、更に評価基準である河川景観要素を加え、より完全に河川景観を定量評価していく予定である。

表-4 評価基準間のウェイト値

美しさ	植生	傾斜	自然さ	植生	傾斜	好き	植生	傾斜
type1	1.00	0.95	type1	1.00	0.34	type1	1.00	0.85
type2	1.00	0.79	type2	1.00	0.47	type2	1.00	0.81
type3	1.00	0.44	type3	1.00	0.60	type3	1.00	0.55
type4	1.00	0.80	type4	1.00	0.53			

参考文献

- 1) 関根雅彦、浮田正夫、中西弘、内田唯史：河川環境管理を目的とした生態系モデルにおける生物の環境選考性の定式化、土木学会論文集、No. 503/Ⅱ、PP. 176-186、1994。
- 2) 長町三生、竹林征三、伝田正利、松原行宏：感性工学の河川景観評価への応用、土木計画学研究、講演集、No19(1)、PP297-300、1996
- 3) 竹林征三：風土工学序説、技報堂出版株式会社、1997
- 4) 刀根薫：ゲーム感覚意思決定法・AHP 入門、日科技連出版社、1986
- 5) 長町三生：感性商品学、海文堂出版株式会社、1993
- 6) 土木学会編：水辺の景観設計、技報堂出版株式会社、1988

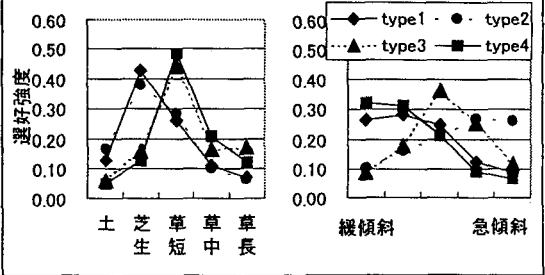


図-8 「美しさ」の選好強度 (左:植生、右:傾斜)

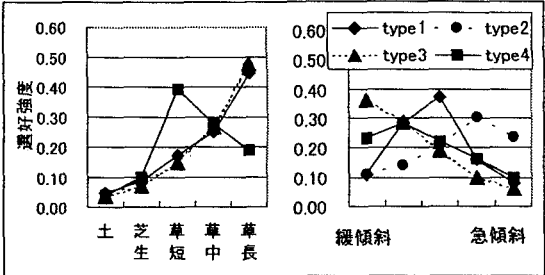


図-9 「自然さ」の選好強度 (左:植生、右:傾斜)

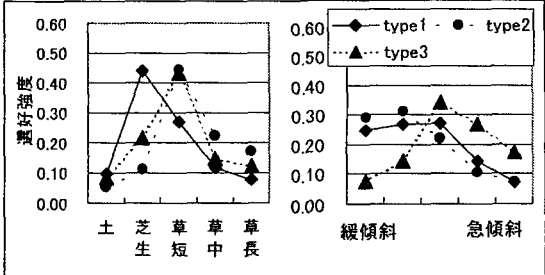


図-10 「好き」の選好強度 (左:植生、右:傾斜)

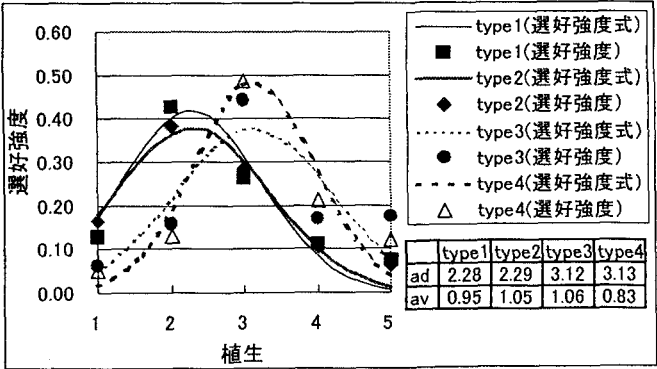


図-11 選好強度式：美しさ