

# 脳波測定装置を用いた都市・交通施策による快適性変化の評価手法\*

## An Evaluation Method of Change in Comfort with Urban and Transport Measures using Brain Wave Measurement Units\*

佐藤 徹治\*\*・清水 健太\*\*\*・谷 海児\*\*\*\*

By Tetsuji SATO\*\*, Kenta SHIMIZU\*\*\* and Kaiji TANI\*\*\*\*

### 1. はじめに

都市・交通施策による当該市場における発生便益の計測は、我が国では1990年代後半以降、伝統的な消費者余剰分析に基づく施策分野ごとの指針として実務的にも定着している。例えば、道路整備の評価指針<sup>1)</sup>では、時間短縮便益、費用減少便益、交通事故減少便益の3つの便益の計測方法が示されている。また、各地域、各経済主体への帰着便益や生産額・消費額の変化等の間接効果の分析手法としては、空間的応用一般均衡モデルや応用都市経済モデルが普及しつつある<sup>2)</sup>。しかし、これらの手法は、都市・交通施策による快適性に及ぼす影響は基本的には対象としていない。

都市・交通施策による快適性向上の既存の評価手法としては、トラベルコスト法 (Travel Cost Method)、多基準分析 (MCA : Multi Criteria Analysis)、価値意識法 (CVM : Contingent Valuation Method)、ヘドニック・アプローチ (Hedonic Approach) 等がある。しかし、多基準分析および価値意識法はアンケート調査をベースとしているため、評価対象に対する認識の不完全性の問題、質問方法等に起因する様々なバイアスの問題が指摘されており、極力バイアスを排除するためには膨大な労力と時間をかけてアンケート調査を実施する必要がある。ヘドニック・アプローチに関しては、前提条件として Small Open (便益の及ぶ地域が地域全体と比較して小さいこと、地域間の移住が自由で費用がかからないこと) 等の制約がある。また、トラベルコスト法は、都市中心部のように、快適性のみならず多様な要素が混在する地域への適用は困難である。

一方、近年、IT技術の進展に伴い、脳の働きの解明を目指す神経科学 (Neuroscience) の発展がめざましい。

神経科学を都市・交通関連の研究に応用する試みとしては、自動車運転時の疲労と生理的反応 (心拍血圧変動やストレスホルモン、フリッカー値等) の関係に関して1990年代後半以降、多くの先行研究<sup>例えば、3)4)</sup>がある。他の工学分野においては、脳波測定による疲労感や不快感に関する研究<sup>例えば、5)</sup>、脳波によるシステム制御の研究<sup>6)</sup>等、様々な研究が展開されている。また、神経経済学の分野では、機能的磁気共鳴画像装置 (fMRI) を用いた非合理的な経済的意志決定のメカニズムの解明に関する研究が進められている<sup>7)8)9)</sup>。

このように、神経科学を工学や社会科学分野に活用した研究は多い。しかし、都市・交通施策の評価に関しては、多くの都市・交通施策が不快感の解消や快適性の向上に寄与し、施策実施の判断や実施施策の選択に際して非金銭的便益の計測が必要不可欠であり、神経科学が有用であると考えられるにも関わらず、神経科学を活用した研究がこれまでほとんど行われてこなかった。

そこで本研究は、交通施設整備等の都市・交通施策の評価手法における現状の問題点を踏まえ、近年めざましい発展を遂げている神経科学や神経経済学の成果を活用し、街路整備や景観規制、LRT整備等の具体的な都市・交通施策について、施策導入に伴う快適性の向上による生理的変化 (脳波の変化) を分析し、非金銭的便益を定量的に計測する新たな手法体系を構築することを目的とする。

### 2. 快適性評価の既存手法と新たな評価手法の概要

既存の評価手法の課題を踏まえ、CVMアンケート調査におけるバイアスを軽減する、価値意識法と脳波測定を組み合わせる快適性の新たな評価手法を提案する。図-1に新たな評価手法のフローを示す。

新たな評価手法では、快適性と脳波の関係および脳波の変化と支払意志額<sup>10)</sup>の関係を定量的に把握した上で、労力を要するCVMアンケート調査を少数 (1~2) の施策に対してのみ極力バイアスを排除する形式で実施し、その施策に対する支払意志額と各脳波の変化の関係より、他の施策については、脳波測定のみで支払意志額 (非金銭的便益) を推計することが可能となる。この方法によ

\*キーワード: 公共事業評価法、公園・緑地、景観

\*\*正会員、博(工)、千葉工業大学工学部建築都市環境学科  
(〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1、

TEL: 047-478-0278、E-mail: tetsuji.sato@it-chiba.ac.jp)

\*\*\*非会員、学(工)、千葉工業大学大学院工学研究科

\*\*\*\*非会員、千葉工業大学工学部建築都市環境学科

り、都市・交通施策による快適性の定量的な評価の労力が大幅に改善され、評価の信頼性も向上することが期待される。

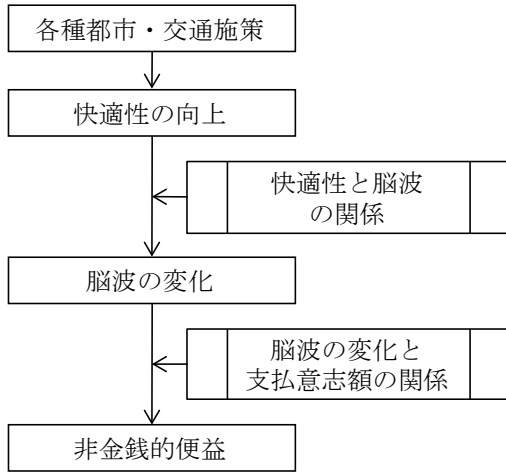


図-1 新たな評価手法のフロー

人の脳波は、その周波数により、β波、Fast-α波、Mid-α波、Slow-α波およびθ波の5種類に分類される。本研究では、脳波測定装置として、各脳波の割合を容易に計測可能な(株)脳力開発研究所のMinD Sensor V for Windows Ver. 1.06を用いる。脳波の種類と精神状態の対応を表-1に、脳波測定装置の外観を図-2に示す。

表-1 脳波の種類と精神状態

脳波種類	周波数	状態
β波	15~23Hz	不安・いらいら
α波	Fast-α	緊張・集中
	Mid-α	リラックス・集中
	Slow-α	リラックス・意識低下
θ波	4~6Hz	深いリラックス・浅い瞑想



出典) (株)脳力開発研究所HP

図-2 脳波測定装置 (MinD Sensor V for Windows)

### 3. 脳波測定のプレ実験

都市・交通施策の実施による脳波の変化の傾向を把握し、快適性の変化に対応する脳波の変化指標を検討するため、脳波測定のプレ実験を行う。

プレ実験では、6人の被験者を対象として、暗室においてJR総武線船橋駅前地区の景観改善施策(看板・色彩規制)の実施なし、ありの状況の写真(PC画面上)を10秒ずつ掲示し、脳波測定装置を用いて5種類の脳波の割合を計測した。プレ実験における脳波(β波の割合)の変化を図-3に示す。

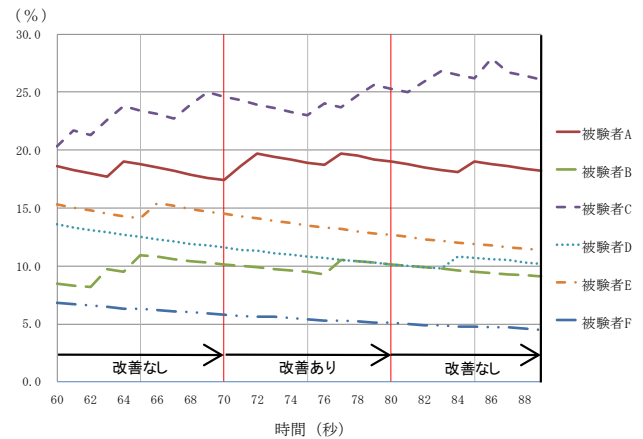


図-3 プレ実験における脳波(β波の割合)の変化

図-3より、すべての被験者において都市・交通施策により脳波が大きく変化すること、また画像変化後約5秒間は脳波が安定せず5秒目以降に比較的安定すること、画像変化後の脳波の水準は画像変化前の脳波の水準に依存することが読み取れる。

そこで、本研究では、画像変化後5秒目と9秒目脳波の差をDIF 9-5と定義し、現状の画像におけるDIF9-5と改善後の画像におけるDIF 9-5の差分(ΔDIF 9-5)に着目し、これを脳波の変化指標とする。

### 4. ケーススタディ

#### (1) 対象施策

新たな評価手法のケーススタディとして、路面電車が走行する中規模都市の中心部における路面軌道の緑化が快適性に及ぼす影響の評価を行う。

路面軌道の緑化は、軌道外側部分の緑化、軌道内側部分の緑化、外側・内側全体の緑化の3種類を検討する。各緑化のイメージ写真を図-4に示す。なお、図-4における全体緑化の写真は、鹿児島市中心部における2010年3月時点の実際の写真、その他は緑化部分を通常の道路舗装に画像加工したものである。

<緑化なし>



<外側緑化>



<内側緑化>



<全体緑化>



図-4 対象施策（路面軌道の緑化）のイメージ

## (2) 脳波測定およびCVMアンケート

ここでは、7名の被験者に対して、緑化なしから外側緑化、内側緑化、全体緑化への画像変化に伴う脳波の変化（ $\Delta DIF$  9-5）を測定する。脳波測定は、プレ実験時と同様に、暗室においてPC画面の画像を変化させ、前述の脳波測定装置を用いて行う。また、脳波の変化と支払意志額の関係把握するため、脳波測定と併せ、3種類の軌道緑化に対して毎月いくらまで寄付できるかを尋ねるCVMアンケート調査を実施する。

脳波の変化（ $\Delta DIF$  9-5）の測定結果（平均±標準偏差）を図-5に示す。

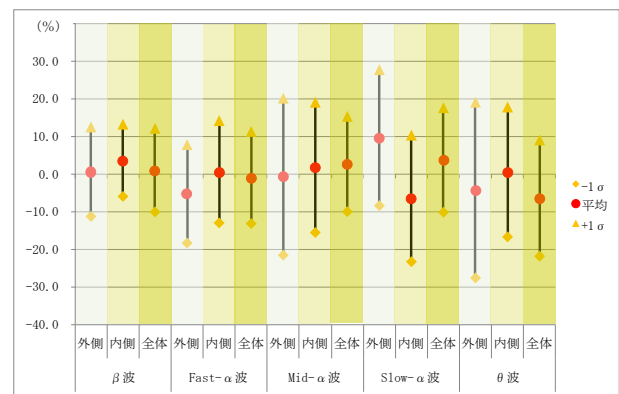


図-5 脳波の変化（ $\Delta DIF$ 9-5）の測定結果

軌道全体の緑化は、直感的には、内側のみや外側のみの部分緑化と比較して快適性をより大きく向上させると考えられる。各脳波の変化の平均値を外側緑化、内側緑化、全体緑化間で比較すると、リラックスした集中状態を表すMid- $\alpha$ 波のみが全体緑化時にもっとも大きくなっている。したがって、全体的にはMid- $\alpha$ 波の変化が快適性の変化を表現していることが示唆される。ただし、各脳波とも分散がかなり大きく、快適性の変化が脳波に及ぼす影響は個人差が大きいと言える。

CVMアンケート調査では、回答者が路面電車のあるまちに住み、路面電車の通る中心市街地に毎日通勤または通学している状況を想定してもらい、市民からの毎月の寄付金で軌道緑化（芝生化）とその維持・管理費用を賄うとの仮定の下、毎月の支払意志額を尋ねることとする。アンケートは、回答時のバイアスを極力排除できる多段階2項選択方式のアンケート票で実施する。図-6にCVMアンケート票、図-7に各緑化に対する毎月の支払意志額（WTP）の分布を示す。

図-7より、支払意志額の平均値は、外側緑化で163円、内側緑化で146円、全体緑化で275円と全体緑化でもっとも大きくなっているが、外側緑化と内側緑化への支払意志額は100円付近に集中している一方、全体緑化に対する支払意志額は個人差が大きいことが確認できる。

	状況 A	回答欄	状況 B
①	寄付金を支払わない代わりに緑化しない	A B	寄付金 10円を毎月支払って緑化する
②	同上	A B	寄付金 20円を毎月支払って緑化する
③	同上	A B	寄付金 30円を毎月支払って緑化する
④	同上	A B	寄付金 50円を毎月支払って緑化する
⑤	同上	A B	寄付金 100円を毎月支払って緑化する
⑥	同上	A B	寄付金 200円を毎月支払って緑化する
⑦	同上	A B	寄付金 300円を毎月支払って緑化する
⑧	同上	A B	寄付金 500円を毎月支払って緑化する
⑨	同上	A B	寄付金 1,000円を毎月支払って緑化する
⑩	同上	A B	寄付金 2,000円を毎月支払って緑化する
⑪	同上	A B	寄付金 2,000円以上毎月支払って緑化する (円までなら支払ってもよい)

図-6 CVMアンケート票

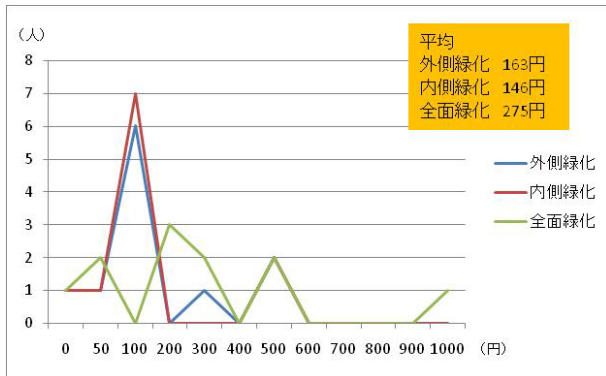


図-7 毎月の支払意志額 (WTP) の分布

### (3) 脳波と支払意志額の関係分析

各緑化に対する  $\Delta DIF9-5$  (絶対値) と支払意志額の相関係数の全体平均および一部の被験者の値を図-8に示す。

図-8より、全体的に脳波の変化と支払意志額の間には一定の相関があること、被験者ごとに支払意志額と相関の高い脳波の種類は異なることが伺える。例えば、被験者KはSlow- $\alpha$ 波との相関、被験者SはFast- $\alpha$ 波および $\beta$ 波との相関が極めて高くなっている。この結果から、軌道緑化に対する嗜好の違いとともに、快適性を表す脳波の種類に個人差があることが推察される。

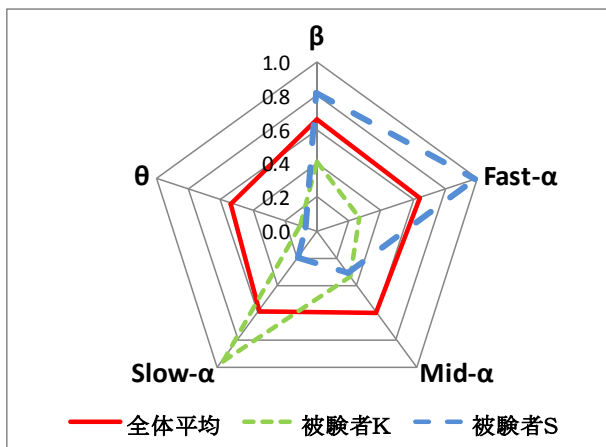


図-8 DIF9-5 (絶対値) と WTP の相関係数

## 7. おわりに

本研究では、都市・交通施策による快適性向上の評価について、CVM等の既存の評価手法の課題を解消する神経科学を応用した新たな評価手法の枠組みを提案するとともに、都市・交通施策による脳波変化の特性を踏まえて快適性を評価するための脳波の変化指標を提示し、中規模都市中心部における路面電車の軌道緑化を対象とするケーススタディを行った。この結果、施策による脳波の変化は被験者ごとに多様であるが、全体的には脳波変化指標と支払意志額の間には一定の相関があり、被験者ごとに支払意志額と相関の高い脳波の種類は異なることが示唆された。

なお、今回のケーススタディでは、被験者7名を対象として脳波測定およびCVMアンケート調査を実施したが、より多くの被験者を対象とした分析が必要なのは言うまでもない。また、より多くの都市・交通施策について、幅広い年齢層、職種等の被験者を対象に脳波測定およびCVMアンケート調査を実施し、脳波の変化パターンにより被験者を分類すること、その分類ごとに支払意志額と各脳波の変化の関係を定量化すること等も今後の課題である。

### 参考文献

- 国土交通省道路局 都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル，2008。
- 上田孝行編著：Excelで学ぶ地域・都市経済分析，コロナ社，2010
- 田口敏行：自動車運転時の疲労評価，豊田中央研究所R&D レビュー，Vol. 33, No. 4, pp. 25-31, 1998。
- 岩倉成志・西脇正倫・安藤章：長距離トリップに伴う運転ストレスの測定-AHSの便益計測を念頭に，土木計画学研究論文集，No. 18, pp. 439-444, 2001。
- 清水規裕：脳波解析を用いた色光環境単一作業負荷時における疲労解析，電子情報通信学会技術研究報告，Vol. 102, No. 507, pp. 41-44, 2002。
- 田中一男・松永和之・堀滋樹：移動ロボットの脳動制御，電気学会論文誌，Vol. 124, No. 3, pp. 890-896, 2004。
- Paul W. Glimcher [著]・宮下英三 [訳]：「神経経済学入門」，生産性出版，2008。
- 大竹文雄：脳の特徴から経済を解明，経済教室，日本経済新聞2008年1月14日朝刊，2008。
- 西條辰義：進む経済学の領域拡大，経済教室，日本経済新聞2008年9月30日朝刊，2008。
- 大西竜治・高橋大貴：脳神経科学を活用した都市景観評価手法の開発，2009年度千葉工業大学卒業論文，2010。