生体観測デバイスより得られる感情情報を活用した街路評価手法の検討

大山　慶[1]・轟　直希[2]・柳沢　吉保[3]・平塚　庸太郎[4]・髙野　快成[5]

[1]学生会員　長野工業高等専門学校　専攻科生産環境システム専攻（〒381-8550 長野県長野市徳間 716）
E-mail:23802@g.nagano-nct.ac.jp
[2]正会員　長野工業高等専門学校　工学科都市デザイン系　准教授（〒381-8550 長野県長野市徳間 716）
E-mail:n_todoroki@nagano-nct.ac.jp
[3]正会員　長野工業高等専門学校　工学科都市デザイン系　教授（〒381-8550 長野県長野市徳間 716）
E-mail:yana@nagano-nct.ac.jp
[4]学生会員　長野工業高等専門学校　専攻科生産環境システム専攻（〒381-8550 長野県長野市徳間 716）
E-mail:23811@g.nagano-nct.ac.jp
[5]学生会員　長野工業高等専門学校　環境都市工学科（〒381-8550 長野県長野市徳間 716）
E-mail:19516@g.nagano-nct.ac.jp

近年，地方都市の多くはモータリゼーションの進展に伴い，都市施設機能の郊外化が進んでいる．そのため来訪者が市街地内を回遊することが減少し，中心市街地の衰退が問題視されている．来訪者の回遊行動増加を目指すうえで，歩行者にとってより魅力のある歩行空間整備及びその評価をすることは，歩いて暮らせるまちづくりにおいて重要な課題である．しかし，従来のアンケート等により歩行空間評価を行う手法では，歩行者の街路評価をリアルタイムで反映させることは難しい．そこで，本研究では，感情の起伏と瞳孔反応は関係性がみられることと，心拍等も感覚反応に関係性がみられるということに着目し，生体観測デバイスより，歩行者の感じるストレス度，リラックス度を感情情報として取得する．そして，実街路において，街路整備の有無による歩行者の感情情報に差があるのかを明らかにする．また，感情に影響を与える歩行空間要素も明らかにする．

Key Words: *Street evaluation, Walking space, Biological observation device, Heart rate variability*

1. 本研究の背景と目的

近年，地方都市の多くはモータリゼーションの進展に伴い，交通量の物理的な処理を優先した移動空間整備によって都市施設機能の郊外化が進み，低密度な市街地が形成されている．さらに近年の人口減少や観光の多様化も重なり，来訪者が市街地内への来街・回遊する機会が減少し，中心市街地の活力の低下が問題視されている．

政府は，地方創成を掲げ，「まち・ひと・しごと創生総合戦略（平成 26 年）」を定めるなど，地方活性化に力を注いでいる．しかし，人口減少や少子高齢化という歯止めがかからない問題は今後さらに進展し，2050 年には人口が約 3,000 万人低下して 9,700 万人となり，高齢化率も現在の倍の 35%に至るとの推計結果 [1]もある．その結果，医療・福祉等の社会保障への歳出が膨らみ，今後，社会資本整備に対する投資能力は低下していくことが指摘されている．そのような中で，都市を持続可能なものとしていくために，コンパクト・プラス・ネットワークの集約型都市構造を目指すという前提のもと，都市機能誘導区域においては，官民が協働して公共空間を自動車中心から歩行者中心の空間へと展開させ，歩行回遊性を高め，中心市街地に訪れることに価値を見出すまちづくりが急務となっている．

本研究の対象都市である長野市においては，長野市中心市街地活性化プラン [2]を主体として，「行きたくなるまち」「住みたくなるまち」「巡りたくなるまち」「交わりたくなるまち」を基本目標に，善光寺に向かう中央通りの歩行者・自転車通行量が減少しているという現状を顧みて，歩行者優先道路化事業をはじめ，善光寺周辺街並み環境整備事業等を展開し，中心市街地の魅力向上を図っている．平成 23 年から 26 年にかけて，歩行者優先事業が行われ，平成 26 年度に長野市中央通りの新田町交差点から大門交差点までの第 1 次事業区間において，歩行者優先道路化事業が完成した．現在，部分的な整備にとどまっている本事業を広範囲に展開し，まちなかに賑わいを創出するためには，歩行者視点による空間評価を取得し，より魅力的な歩行空間の在り方を検討するとともに実践していくことが重要である．

2. 本研究の位置づけ

従来の歩行空間評価手法として，歩行者に対するアンケート・ヒアリング調査が主であるが，多くの人手や時間を有することが課題である．また，アンケート調査では，微小区間ごと時々刻々と変化する街路評価を連続的に入手することが難しい．一般の歩行者にアンケート調査を行う場合，現地で回答してもらう場合には時間的制約や拘束により，早く回答を終えようという気持ちが回答内容に影響を与える可能性がある．また，後から返送や返信を依頼する場合でも，回答するまでにある程度の時間がたっているため，現地で感じていたことと異なる感情のバイアスが掛かる可能性があり，回答内容の精度は確かではない．さらに，アンケート調査の回答は協力意思がある人に絞られてしまうことから，回答サンプルのランダム性の確保が難しいという問題が存在する．このような理由から札本ら [3]は，アンケート調査では正確な真意をとらえた回答を得ることは容易ではないと結論付けている．

そこで，本研究では，人間から出る生体反応とその反応を観測することのできる生体観測デバイスに着目した．高重ら [4]の瞳孔反応と感情の起伏は関係性がみられることと，鈴木ら [5]の心拍変動が感覚反応に関係性がみられるということに着目し，生体観測デバイスを用いて，被験者から同時進行で得られる感情情報を活用した新たな街路評価手法の検討を行う．

3. ストレス度，リラックス度の算出方法

(1) LF/HF 値算出の流れ

まず，LF/HF 値の概要について示す [6]．LF/HF 値とは，心電波形のピーク感覚のゆらぎ(心拍変動のこと)をスペクトル解析し，低周波領域(LF: Low Frequency)と高周波領域(HF: High Frequency)のパワースペクトル密度の比を取った値である．この値は，交感神経と副交感神経の活動度合いを示す値であり，ストレス状態を示す値として広く用いられている．このパワースペクトルでは，周波数の低い LF 成分と周波数成分の高い HF 成分が観測される．LF 成分は血圧調整の機能と関連しており，交感神経と副交感神経の両方の影響を受ける．HF 成分は呼吸変動と関連しており，副交感神経の影響を受けている．ストレス状態では，交感神経の方が優位になり LF 成分が増加する．リラックス状態では，副交感神経が優位となり，LF と HF 成分の両方が増加する．つまり，LF 成分は両方の状態で増加し，HF 成分はリラックス状態のみで増加することとなる．この比を取ることで，交感神経活動度の指標を求めることができる．この関係を図示すると，**図-1** のようになる．縦軸は交感神経の活動度合いを示す LF/HF，横軸は副交感神経の活動度合いを示す HF である．それぞれ大きい値をとるときにそれぞれの神経が優位な状態を表しており，LF/HF 値が大きくなるとストレス LF/HF 値が小さくなるとリラックス状態であることを示している．

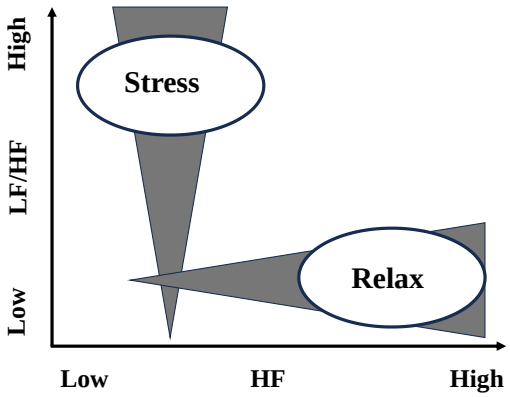


図-1 HF，LF/HF とストレス状態の関係

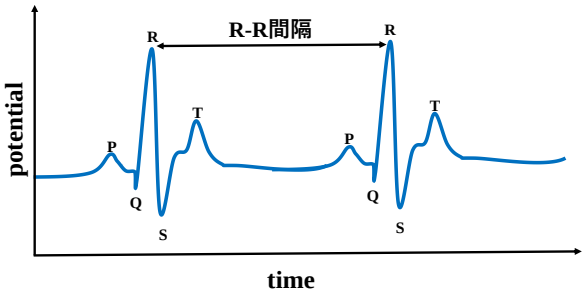


図-2 心電図モニターの様子

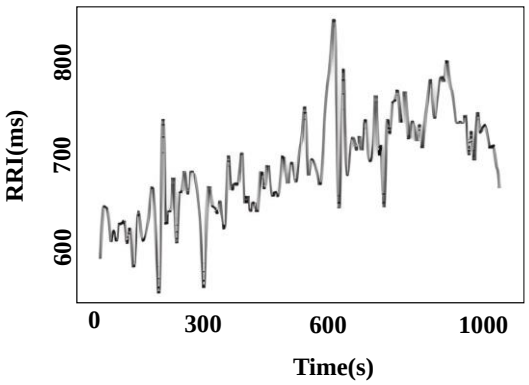


図-3 RRI 時系列データ

図-2 は心電図における心拍データの一部を示したものである．各心拍には P，Q，R，S，T という様々な波形が含まれている．RR 間隔(RRI: R-R Interval)というのはその中で最も大きなピーク波である R 波の間隔である．RR 間隔は心拍と同様に常に一定でなく変動していることが知られている．**図-3** に示すのはこの心拍変動を時系列データで並べたものである．横軸が時間，縦軸が

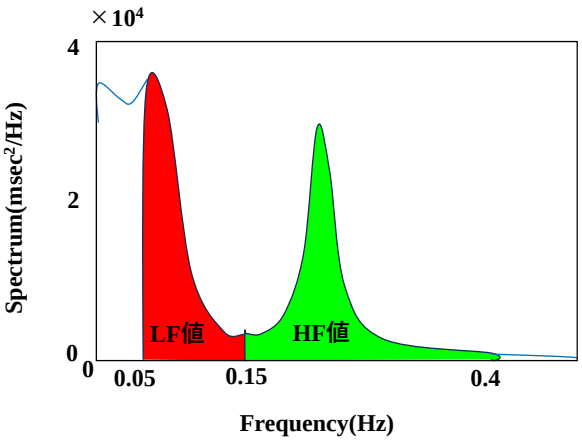


図-4　RRI の周波数解析結果



図-5　腕時計型ウェアラブル装置

RRI となっている．図に示すように時間の経過により，変化していることが分かる．**図-4** に示すのは，心拍変動時系列データを周波数解析したものである．この心拍変動時系列データを(a) 式より 0.05~0.15 Hz 間で積分した値を LF，(b) 式より 0.15~0.40 Hz 間で積分した値を HF としてこの 2 つの値の比をとることで LF/HF 値を算出する．

$$LF = \int_{0.05}^{0.15} P(f)\,df \qquad \text{(a)}$$

$$HF = \int_{0.15}^{0.40} P(f)\,df \qquad \text{(b)}$$

4.　生体情報の取得方法

(1)　心拍数および脈拍間隔の取得

使用するのは Poral 社製の Poral Pacer pro を用いる．本体画像および計測可能な機能を**図-5** に示す．このデバイスは腕時計型のウェアラブル装置であり，ヘルストラッキング機能により，1 秒ごとの平均心拍数のデータを入手することができる．3 章にて示したように，LF/HF 値は心電図の波形による R 波同士の間隔，RRI より求めるのが一般的ではあるが，心電図波形の正確な取得は手間がかかり容易ではない．そこで，本研究では，心拍数より脈拍間隔(PWI: Pulse Wave Interval)を簡易的に求められる [7]ため，RRI の代用として使用することとする．脈拍とは心拍に伴う脈の拍動であり，PWI と RRI は同義である．



図-6　コンディショニング・メーターと計測の様子

(2)　瞳孔反応の取得

使用するのはスカラ・マーケティング株式会社より管理医療機器としても使用されているコンディショニング・メーターを用いる．この機器では特殊カメラにより瞳孔の広がり・縮小の様子を観察することができる．計測器と計測時の様子を**図-6** に示す．先行研究として，松尾ら [8]の研究にて，開眼により青斑核が刺激され，交感神経が緊張することが発見された．青斑核は，意思決定，記憶想起，情動などを司る腹内側前頭前野を刺激し，情動の安定を図り，交感神経を活性化する機能を持つ．本機器においては，青斑核によって制御される交感神経の状態を瞳孔の拡縮の様子から計測し，数値化できるというものである．数値化される値とは，(1)ストレス傾向(2)緊張度合い(3)リラックス度合い(4)睡眠不足の 4 つである．

5.　事前実験

(1)　実験の目的および概要

本研究では，被験者に生体観測デバイスを装着した状態で街路を歩く人の視点の映像を室内にて視聴してもらい，ストレス・リラックス傾向を計測することを目的としている．そのためには，歩行運動負荷による脈拍変動等のバイアスを除外するため，実際に街路を歩く時のストレス・リラックス傾向と動画を視聴するときのストレス・リラックス傾向が同様の変化を見せるのか検証しなくてはならない．そこで，事前実験として，被験者には本校周辺の 2 つの街路を実際に歩いてもらうのとともに

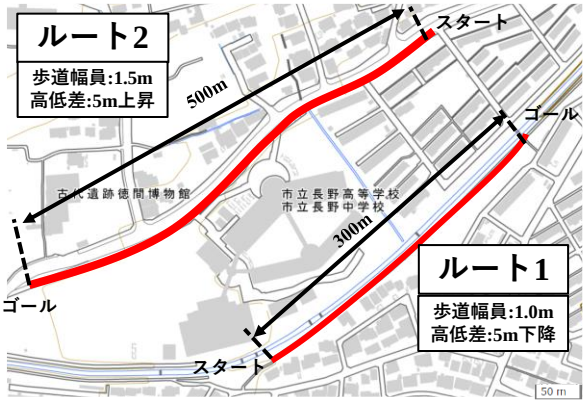


図-7　ルート位置図

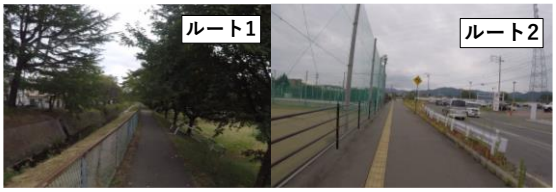


図-8　実際の街路の様子

街路を撮影した動画を視聴してもらい，それぞれのストレス・リラックス傾向を確認する．実験対象の街路の位置図を図-7 に示す．各ルートの特徴として，ルート 1 は細い小道になっており，両脇に木々が生い茂っている．また，川がすぐ隣を流れている．ルート 2 は比較的交通量の多い道路の歩道であり，隣には学校が広がっている．実際の街路の様子を図-8 に示す．撮影装置は，小型かつ広角撮影，手ぶれ補正が可能なウェアラブルカメラである「Gopro」を使用した．動画撮影の際には，歩行者目線であることを意識し，一定の高さ（140cm 程度）および歩行速度であることに注意し撮影を行なった．視覚の方向がぶれないように上下左右に撮影角度を変えないこと，揺らさないことに留意した．動画撮影の設定として，人間の視野角に基づき，画角は 28mm とした．

(2)　実験結果

表-1 に街路歩行時，表-2 に室内において動画視聴時の LF/HF 値および，コンディショニング・メーターで計測したストレス，リラックス値の変化を示す．LF/HF 値は大きいほどストレスを感じていることとなり，瞳孔計測のストレス値は，値がプラスに大きくなるほどストレスを感じていることとなり，リラックス値は，マイナスの値が大きくなるほどリラックスしていることになる．表に示す通りに，LF/HF 値は，街路歩行時，ルート 1 で 5.06792 に対してルート 2 で 10.52274 と値が大きくなった．室内では，ルート 1 で 1.488599 に対してルート 2 で 2.951985 と同じように値が大きくなった．よって，街路歩行時と動画視聴時の両方でルート 1 よりもルート 2 で値が大きくなる傾向がみられた．コンディショニング・メーターで計測した場合でも，街路歩行時，動画視聴時で，ストレス値がルート 1 からルート 2 にかけて値が大きくなる，つまりストレスを感じているとなる．リラックス値はルート 1 からルート 2 にかけて値が大きくなる，つまり，リラックスを感じにくくなるという結果が得られた．しかし，LF/HF 値では歩行時の値が大きくなり，値の変化が激しいため，運動下における心拍変動を座席時における心拍変動と同様にとらえて良いものかを考慮する必要がある．また，瞳孔反応測定に関しても，室内と屋外では太陽のような日光が影響していて，うまく計測できない場合があった．なるべく日陰で計測することや，太陽と反対方向を向きながら計測するなど配慮が必要となると考えられる．

表-1　ストレス・リラックス傾向の変化(歩行時)

	心拍計測	瞳孔計測	
区間	LF/HF	ストレス	リラックス
測定前	–	-1.27	-10.10
ルート 1	5.06792	-7.33	-5.79
ルート 2	10.5274	2.11	-2.01

表-2　ストレス・リラックス傾向の変化(動画視聴時)

	心拍計測	瞳孔計測	
区間	LF/HF	ストレス	リラックス
測定前	–	-0.56	-2.01
ルート 1	1.596652	0.15	-2.11
ルート 2	2.951958	1.76	-1.06

6.　長野市中央通りにおけるストレス・リラックス傾向の変化

(1)　街路空間情報の収集

本研究の対象地域である長野市中央通りにて，街路歩行を想定した動画撮影を，歩行者優先道路化事業が行われた新田町交差点から大門交差点までの「整備済区間」さらに，大門交差点から善光寺交差点までと，長野駅から末広町を経由し新田町交差点までの「未整備区間」に分けて行った．長野市中央通りの撮影区間および整備済，未整備の区間を図-9 に示す．図-9 の番号は撮影区間を示す．撮影装置および撮影の際の留意事項，動画の設定方法は，5 章と同様にする．また，中央通りでは歩道の中央付近を歩く歩行者が最も多いことから，歩道の真ん中を歩くこととした．撮影した動画に整合性を持たせるために，対面歩行者がいたら停止をすることとした．動画撮影は，対面歩行者による様々な行動を確認するため，観光客の多い休日に行い，時間帯は最も歩行者の多い，



図-9　長野市中央通りの整備・未整備区間位置図(撮影区間)



図-10　長野市中央通りの整備区間未整備区間の状況

正午前後の約 2 時間に行った．長野市中央通りを 8 つに区分し，3 往復ずつ撮影を行なった．整備区間未整備区間の状況を図-10 に示す．また，街路空間情報撮影概要については，表-3 に示す．

(2)　実験方法・条件

実験の方法について整理する．被験者には，10 分間の動画を視聴してもらうこととする．まず，未整備空間内を歩く映像を流す，これをセクション 1 とし，次のセクション 2 では整備区間の映像を流す．続いてセクション 3 では未整備区間，セクション 4 では整備区間の映像を流す．各セクションの動画の長さを 2 分 30 秒に統一することで，計 10 分間となるようにする．心拍数の計測は継続して行い，コンディショニング・メーターによる瞳孔反応の計測は実験前と各セクション終了時の計 5 回計測することとする．計測方法について図示したものを図-11 に示す．実験の条件については，被験者全員が同じ条件で行えるように，座席からモニターまでの距離

表-3　長野市中央通り動画撮影概要

撮影日	平成 29 年 7 月 15 日(日)
撮影場所	長野市中央通り東側歩道
時間	11:00~12:00,12:00~13:00,13:00~14:00 （3 往復）
撮影区間	①長野駅前-末広町　②末広町-かるかや山前 ③かるかや山前-新田町　④新田町-問御所町 ⑤問御所町-後町　⑥後町-大門南 ⑦大門南-大門　⑧大門-善光寺
撮影媒体	GoPro hero5 Black

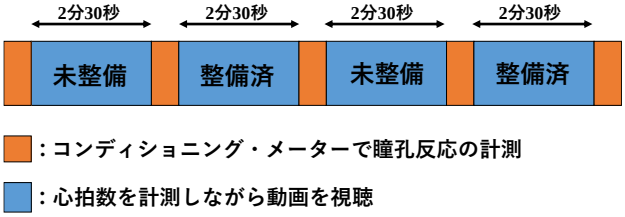


図-11　計測方法について

表-4　実験の条件・概要

採用時間帯	11:00~12:00 (1 往復分)
動画区間	(1)末広町-かるかや山前(未整備) (2)後町-大門南(整備済) (3)新田町-かるかや山前(未整備) (4)大門南-後町(整備済)
モニターサイズ	50 インチ
モニターまでの距離	100cm 以上 120cm 以下
被験者数	5 人

表-5　実験の結果

	心拍計測	瞳孔計測	
区間	LF/HF	ストレス	リラックス
測定前	-	-1.06	-6.67
(1)	2.448729	0.91	-8.52
(2)	0.627813	-2.03	-3.75
(3)	1.919802	-1.38	-6.76
(4)	1.627906	-0.92	-5.88

を 100cm~120cm となるように統一する．被験者は本校学生を対象とし，年齢は 19~20 歳である．実験の条件と概要を表-4 に示す．動画区間のかっこは各セクションを示す．本実験では整備区間として，

(3)　実験結果

実験の結果を表-5 に示す．表に示す通り，LF/HF 値では，(1)から(2)にかけてでは 2.448729 から 0.627813，(3)から(4)にかけてでは 1.919802 から 1.627906 と未整備区間視聴後から整備区間視聴で LF/HF 値が小さくなっている．つま

り，被験者は整備区間のほうがストレスを感じにくいこととなっている．また，瞳孔計測においても，ストレス値では整備区間視聴後には小さくなっているので，ストレス状態から緩和され，リラックス値は小さくなっているので，リラックス状態になっているということが分かる．

7. あとがき

本研究にて得られた知見を以下に示す．

(1) 事前実験にて，実街路を歩くときと，室内で動画を視聴した際に得られるストレス・リラックス傾向としておおむね同様の傾向が得られる．

(2) 長野市中央通りにおける実験では，整備区間を視聴後，LF/HF 値が小さくなり，瞳孔反応においては，リラックス値が下がる傾向が，未整備区間視聴後には，LF/HF 値が上昇し，瞳孔藩王においても，ストレス値を示す値が上がるという傾向がみられた．

8. 今後の課題

(1) 実際に，街路を歩いて計測する際，歩行運動時の心拍変動と座っている安定時との心拍変動が LF/HF 値に対してどのような影響を与えるのかを検証する必要がある．また，街路にて瞳孔反応を測定する際，天候等の変化があるため，室内と条件が異なる場合や，室内に比べて明るさの変化が激しく，瞳孔反応の計測に際してどのような影響があるのかを明らかにする必要がある．さらに，室内と同じ条件であるのが望ましいため，日傘をさすなど日光が当たらないような対策についての検討が必要となる．

(2) 長野市中央通りの計測について視聴した動画のパターンが**図-11** に示した 1 つしかないため，整備区間，未整備区間の動画を流す順番を入れ替えたりすることや他の区間の動画を流すなど，様々なパターンで同様の実験を行い，結果の妥当性を検証していく必要がある．また，どのような歩行空間要素がストレス値，リラックス値に影響するのかを明らかにする．

参考文献

1) 内閣官房・内閣府総合サイト 地方創成：まち・ひと・しごと創成基本方針
2) 長野市 HP：長野市中心市街地活性化プラン
3) 札本太一，小嶋文，久保田尚：歩行者の外形的な特徴に着目した空間歩行に関する研究，土木学会論文集 D3(土木計画学),vol.67,No.5(土木計画学研究・論文集第 28 巻),I_919-I_927,2011
4) 高重賢生，中古賀理，中内茂樹，南哲人：音響的逸脱に伴う瞳孔反応を用いた感情状態・特性の推計，日本心理学大会発表論文集
5) 鈴木弘司，今井克寿，藤田泰弘：心拍変動を用いた自転車利用の幹線街路評価に関する研究，土木学会論文集 D3(土木計画学),vol.69,No.5(土木計画学研究・論文集第 30 巻),I_857-I867,2013
6) 早野順一郎，山田眞己，藤浪隆夫，横山清子，渡辺與作，高田和之：心拍変動と自律神経機能，生物物理,vol28,No.4,pp.198-202
7) 秋山早弥香，加藤由花：装着型デバイスを利用した日常生活におけるストレス状態推定手法，情報処理学会研究報告,DPS-166-17,pp 1-7,2016
8) Kiyoshi Matsuo，Ryokuya Ban，Yui Hama，Shunsuke Yuzuriha，Sakakibara Manabu：Eyelid Opening With Trigeminal Proprioceptive Activation Regulates a Brain-stem Arousal Mechanism，PLOS ONE,2015

STUDY OF STREET EVALUATION METHOD USING EMOTIONAL INFORMATION OBTAINED FROM BIOLOGICAL OBSERVATION DEVICE

Kei OYAMA, Naoki TODOROKI, Yoshiyasu YANAGISAWA,
Youtarou HIRATUKA and Kaisei TAKANO

In recent years, many local cities have become increasingly suburbanized with the development of motorization. As a result, the number of visitors touring within the city center has decreased, and the decline of the city center has become a problem. In order to increase the number of visitors, it is important to develop and evaluate pedestrian spaces that are more attractive to pedestrians in order to create a town where people can live on foot. However, it is difficult to reflect pedestrians' street evaluation in real time using conventional methods of evaluating walking space, such as questionnaires. In this study, focusing on the relationship between emotional ups and downs and sensory responses such as pupil response and heart rate, the degree of stress and relaxation felt by the pedestrian is obtained as emotional information from the biometric observation device. The results of this study will clarify whether there is a difference in pedestrian emotional information depending on the presence or absence of street maintenance on real streets. We will also clarify the elements of the pedestrian space that influence the emotional state of pedestrians.