

# 人が水辺を見た際の、生体反応への影響の検証

## Verification of the effect on biological reactions when people see a body of water

22N3100057L 森 一憲 (都市人間環境学専攻)

Kazunori MORI / Civil, Human and Environmental Science and Engineering Course.

**Key Words** : blue-space, well-being, psychophysiology, PsPM, LTI Model

### 1. 背景

近年、日本橋再生計画をはじめとして<sup>1)</sup>、自然環境の景観価値や、自然環境がヒトにもたらす健康効果が重要視されている。このような、自然がもたらす健康効果については、様々な先行研究が存在している。

自然環境への曝露が身体的・精神的なwell-beingを高める可能性が示唆されている<sup>2)</sup>。今までの論文では緑地に対するヒトへの健康効果に関する内容が執筆されているが、近年では水辺に対するヒトの健康効果についての研究が見受けられる。アンケート調査を用いた先行研究では、水辺環境を見せたときの人の感情を被験者の主観的な評価を測定することで定量化することを試みている。多くの研究では、水辺は生態系サービスを提供する空間であるとともに、人に安らぎをもたらす空間であることが、示された<sup>3)4)5)6)7)</sup>。このことから、ヒトは水辺から精神的な作用を受けていることが分かる。

一般的に、自然環境がもたらす健康効果については、前述のようにアンケート調査が用いられてきた。近年では、自律神経系 (Autonomic Nervous System : ANS) を用いた先行研究がみられる。自律神経系は、自らの意思に関係なく呼吸や体温調節など生きていく上で欠かせない生命活動を維持するために絶えず活動している。このANSの活動からは、ヒトの心理過程が反映されていると考えられている<sup>8)9)</sup>。ヒトの心理過程は、心臓循環器系反応、呼吸器系反応、汗腺活動系反応に現れることが報告されている<sup>10)11)12)</sup>。

自律神経系の活動の生理指標を計測することで自然環境が人にもたらすリラクゼーション効果をはじめとした精神的な影響を定量的に測定できることが分かっている<sup>10)11)</sup>。過去の研究では、緑地の効果を検証するのが主流であった<sup>10)11)</sup>。しかし、水辺の効果を検証する研究は少なく、同じような手法で行っているものは3本のみ確認できた<sup>12)13)14)</sup>。その中の1本、湿地部と都市部の異なる環境を見た際のANSの活動を比較した先行研究<sup>12)</sup>では、湿地部が人々のストレスを緩和する効果があると結論づけている<sup>12)</sup>。このことから、水辺にはヒトに対する精神的な健康効果があることが分かっているが、知見が少ないかつ、様々な要因が含まれている。

以上のことを踏まえて、本研究では、ANSの活動に着

目して、水辺および水辺の状態がヒトの精神的健康に与える影響を明らかにすることを目的とする。都市型の水景と自然型の水景によって、人々の嗜好や感じる魅力が異なることが分かっている<sup>15)</sup>。加えて、人は水辺の状態を判断し、その状態によって嗜好が変わることが示唆されている<sup>16)</sup>。そのため、本研究では、水辺の種類、状態によって人の生体反応に差がみられるのかについて検証を行う。仮説は以下の通りである。

- ・綺麗な水辺に対して汚い水辺を見た際に、交感神経系の指標の値が高くなる。
- ・自然の水辺に対して人工の水辺を見た際に、交感神経系の指標の値が高くなる。

### 2. 方法

#### (1) 被験者

実験には健康な成人15名 (平均年齢 : 21.9±1.6歳 (平均±標準偏差)、年齢の範囲19-24歳、男性 : 14名、女性1名) が参加した。水辺に対して過度の恐怖や不安を抱かない被験者が参加した。本研究はヘルシンキ宣言及び日本神経科学学会のガイドラインに則って行われる。また、計測について中央大学理工学部人を対象とする研究倫理委員会の実施許可に基づいて行う。

#### (2) 実験刺激

実験は水辺の状態 (綺麗・汚い) × 景観 (自然・人工) の2要因で行われた。各実験刺激はインターネットから入手または実際に撮影した水辺の写真を用いた。本実験の被験者と独立した協力者が各写真に対して綺麗、汚い、自然度、人工度の4つの指標について点数をつけて選定した。実験刺激は4条件×3枚の計12枚の写真を用いた。

#### (3) 実験手順

実験では、最初に固視十字を30秒提示した。その後、実験刺激を60秒間提示し、被験者にスペースキーを押させ固視十字を7~10秒提示し、6回繰り返した。実験刺激時間は、事前実験の結果と先行研究<sup>17)18)19)20)21)</sup>を参考に60秒とした。これを1セッションとし、実験では2セッション行った。セッション間には5分間の休憩をとり、安静に過ごすように教示した。

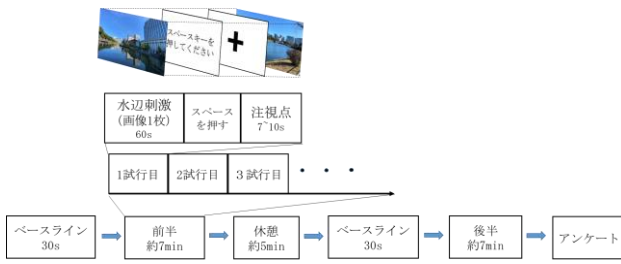


図1. 実験手順

#### (4) 計測方法

実験課題遂行中に生体信号収録装置 (Polymate V, ミユキ技研, 日本) を用いて、心電図、呼吸、皮膚電気反応を計測した。心電図は第二誘導で計測した。皮膚電気反応は左手の中指と薬指に電極を取り付け通電法で計測した。呼吸は胸部にニューモ管を装着し呼吸を計測した。基準電極は左耳朶、接地電極は左頬に取り付けた。

#### (5) 解析方法

##### (a) 心電図

心電図のR波と隣り合うR波の間隔 (RR間隔、図2参照) から瞬時心拍数 (Instantaneous Heart Rate: IHR) を算出した。

さらに、心拍変動解析を行うために、IHRを高速離散フーリエ変換 (FFT) した。FFTの結果から、高周波成分 (high frequency component: HF, 0.15Hz~0.40Hz) のパワー値と、と低周波成分 (low frequency component: LF, 0.040~0.15Hz) のパワー値を求めた。HFを0.040~0.40Hzのパワー値の総和との比で得られるnormalized HF (nHF) を副交感神経の系の活動指標とし、LFとHFの比で得られるLF/HFを交感神経系の活動指標とした。3 $\sigma$ 法を用いて、nHFおよびLF/HFの外れ値を除外した。

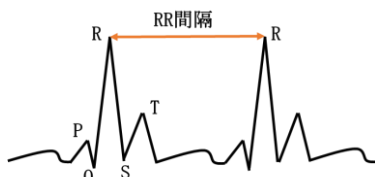


図2. 心電図の概要

##### (b) 皮膚電気反応

皮膚コンダクタンス反応 (Skin Conductance Response: SCR) に対して一般化線形モデル (Generalized linear model: GLM) 解析を用いた。GLM解析を行う理由は、被験者が水辺を見ている際の反応の検出が目的である。GLM解析からは各条件ごとの回帰係数を求める。GLM解析はPsychophysiological Modelling (PsPM) を用いた<sup>22)23)</sup>。

PsPMでは線形時間不変システム (Linear time invariant systems: LTIシステム) を用いており、以下のような畳

み込み演算によって定義される。

$$Y(t) = u \times h = \int_0^{\infty} u(t - \tau)h(\tau) dt$$

ここで、 $u(t)$ は時刻 $t$ におけるシステムへの入力、 $h$ はインパルス応答関 (RF)、 $\tau$ は積分が実行されるダミー変数である。PsPMでは因果システム (すなわち時間を扱っているため、積分の下限を明示的にゼロに設定し、 $t$ 以降に発生する入力が時刻の出力に影響を及ぼさないように調整されている<sup>24)25)</sup>。

また、GLMの式は以下のように書くことができる。

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

ここで、 $Y$ は観測値のベクトル、 $\beta$ は入力振幅パラメータのベクトル、 $\varepsilon$ は誤差である。 $X$ は設計行列で、各列は既知の時点のインパルス関数をRFの各成分に畳み込むことによって得られる。各列は以下の式で表せる。

$$X = u_i(t) \times h_j(t)$$

ここで、 $u_i(t)$ は条件 $i$ の単位振幅の神経入力、 $j$ はRF成分のインデックスである。最後に、 $X$ は切片の列も含む。最尤振幅推定値  $\hat{\beta}$ は、例えばMATLAB関数pinv.mに実装されているムーア・ペンローズ擬似逆行列 $X^+$ を用いて計算することができる<sup>24)25)</sup>。

$$\hat{\beta} = X^+ Y$$

##### (c) 呼吸

計測波形から一周期の呼吸振幅 (respiration amplitude: RA) を求め、GLM解析を行った。GLM解析はPsPMを用いた。

##### (d) 統計解析

LF/HF、nHF、平均心拍数、SCR、RAの各指標における条件ごとの比較を行うために、統計解析ソフトRを用いて統計解析を行った。LF/HF、nHFは、被験者ごとの平均の周波数パワースペクトラムを、SCR、RAは、被験者ごとの回帰係数を解析に用いた。効果量は一般化イータを用いた。今回、一般化イータ ( $\eta^2$ ) を用いた理由は反復測定要因を含み被験者内要因で得られた効果を適切に扱うことができるためである<sup>26)</sup>。

各条件のヒストグラムを作成しデータの分布を確認したところ、正規分布に近い形を有していることがわかったため、2要因分散分析を行った。

### 3. 結果

#### (1) 平均心拍数

水辺の状態間、景観間に対して、有意差は見られなかった。また、交互作用は見られなかった。

#### (2) 心拍変動

水辺の状態間、景観間に対して、有意差は見られなかった。また、交互作用は見られなかった。

#### (3) 皮膚コンダクタンス反応 (SCR)

水辺の状態間、景観間に対して、有意差は見られなかった。また、交互作用は見られなかった。

#### (4) 呼吸振幅 (RA)

水辺の状態間、景観間に対して、有意差は見られなかった。交互作用に関しては有意差が見られた ( $F(1, 59) = 5.8, p = 0.031, \eta^2 = 0.025$ )。ほかの有意な主効果は見られなかった ( $F(1, 59) = 0.0002, p = 0.99, \eta^2 = 0, F(1, 59) = 0.068, p = 0.80, \eta^2 = 0.0006$ )。続いて交互作用効果を明らかにするために単純主効果の分析を行った。その結果、各要因による差はなかった。

さらに、効果量に注目したところ、今回の交互作用における単純主効果分析の結果では「状態×自然」の組み合わせにおいて効果量が0.034であった。先行研究<sup>27)</sup>にて、効果量が0.02の際に有意差があったため、本研究における「状態×自然」において、単純主効果分析で得られた結果の効果量は十分に大きいと言える。このことから、自然の水辺を見た際において、水辺の状態により、ヒトの呼吸の変化に影響を与えることが分かった。

## 4. 考察

### (1) 実験結果の考察

本研究では、呼吸のみ刺激提示時にモデル波形と比較して異なる反応が確認された。呼吸振幅は「驚愕」の感情を人が抱いたときに大きくなると分かっている<sup>28)</sup>。

今回の結果からは「綺麗な人工の水辺」と「汚い自然の水辺」の振幅が大きくなっていた。よって、今回の実験において被検者はそれら二つの水辺刺激を違和感のある環境と認識し、その驚きが呼吸振幅に反映されたと考える。このように、「状態」と「景観」の交互作用に関して有意差が見られたことから、水辺が与える心理的な影響を検証する際に「状態」と「景観」のどちらの要素も考慮する必要があると言える。

また、本研究では被検者の胸に呼吸ベルトを巻いて呼吸をしていることから、被験者の呼吸は胸式呼吸であった可能性が高い。胸式呼吸は交感神経系が優位であり、闘争・逃走反応と関係すると言われている<sup>29)</sup>。今回、GLM解析によって、刺激提示時に平静時とは異なる深い呼吸の反応が確認されたことが分かった。深い呼吸はストレスを減少させる効果があると先行研究からわかっており、これらの呼吸法はヨガをはじめとした健康法で用いられている<sup>30)</sup>。今回、「綺麗な人工の水辺」と「汚い自然の水辺」という違和感のある刺激に対して、深い呼吸を用いて交感神経系が優位になっている状態を抑制した可能性が考えられる。以上のことから、「綺麗な人工の水辺」と「汚い自然の水辺」の刺激は被検者が違和感のある刺激だと感じ、それらの

刺激を見た際に交感神経系が優位になったことに対して深い呼吸を用いて抑制したと考えられる。

### (2) 本研究のまとめ

本研究は、ANSを用いて水辺および水辺の状態が人の精神的健康に影響を与えるかを明らかにすることを目的としていた。今回の実験を通して水辺および水辺の状態がヒトの呼吸に影響を与えることを明らかにした。

### (3) 研究の課題と今後の展望

今回の実験を通して、3点ほど留意点があると気が付いた。「実験刺激の統制の難しさ」「刺激の弱さ」「被験者の実験中の状態」の3点である。

上記の条件を調整することでより理想に近いANSの結果が得られる可能性がある。しかし、その場合、解析に必要な十分な刺激提示時間や、実際の水辺への来訪への追求という点について考慮する必要がある。

将来的には、冒頭に述べた都市における水辺整備や、水辺を取り入れた街づくりにおいて、本研究で得られた知見を応用することができると考えられる。

## 参考文献

- 1) 東京都(2019) 特例的環境影響評価書案—首都高速都心環状線の地下化(神田橋JCT~江戸橋JCT)—第7章 286-304
- 2) Kondo, M.C.; Fluehr, J.M.; McKeon, T.; Branas, C.C (2018) Urban Green Space and Its Impact on Human Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 15, 445.
- 3) Sebastian Volker & Tomas Kistemann (2013) Reprint of "I'm always entirely happy when I'm here!" Urban blueenhancing human health and well-being in Cologne and Düsseldorf, Germany. *Social Science & Medicine*. Vol 91. 141-152.
- 4) Kalevi M. Korpela, Matti Ylen, Liisa Tyrvaainen, Harri Silvennoinen (2010) Favorite green, waterside and urban environments, restorative experiences and perceived health in Finland. *Health Promotion International*. Vol25. Issue2. 200-209.
- 5) Wan, Jiangjun, Yawen Zhou, Yuxin Li, Yi Su, Ying Cao, Lingqing Zhang, Liu Ying, and Wei Deng (2020) Research on Color Space Perceptions and Restorative Effects of Blue Space Based on Color Psychology: Examination of the Yijie District of Dujiangyan City as an Example. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17, no. 9: 3137.
- 6) Robert L. Ryan, (1998) Local perceptions and values for a mid-western river corridor. *Landscape and Urban Planning*. Vol 42. Issues 2-4. 225-237.
- 7) Zohre Bulut, Hasan Yilmaz (2009) Determination of waterscape beauties through visual quality assessment method. *Environ Monit Assess*. Vol 154. 459-468. doi: 10.1007/s10661-008-0412-5

- 8) Walter B. Cannon (1927) The James-Lange Theory of Emotions: A Critical Examination and an Alternative Theory. *The American Journal of Psychology*. Vol. 39, No. 1/4. 106-124.
- 9) Donald G. Dutton and Arthur P. Aron (1974) Some Evidence for Heightened Sexual Attraction under Conditions of High Anxiety. *Personality and Social Psychology*. 30(4). 510-517.
- 10) Jie Yin, Jing Yuan, Nastaran Arfaei, Paul J. Catalano, Joseph G. Allen, John D. Spengler (2019) Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A between-subjects experiment in virtual reality. *Environment International*. Vol 136.
- 11) Mohamed Elsadek, Binyi Liu, Zefeng Lian (2019) Green façades: Their contribution to stress recovery and well-being in high density cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol 46.
- 12) Reeves JP, Knight AT, Strong EA, Heng V, Neale C, Cromie R and Vercammen A (2019) The Application of Wearable Technology to Quantify Health and Wellbeing Co-benefits From Urban Wetlands. *Front. Psychol*. 10:1840.
- 13) Yuan-yuan ZHOU, Yi-xi LIU, Xiu-ping GE (2021) The Influence of Urban Waterfront Space Landscape Form on the User's Physiology. ICCST.
- 14) Jenny Roe1, Laura Barnes, Nicholas J. Napoli & Jarrett Thibodeaux (2019) The Restorative Health Benefits of a Tactical Urban Intervention: An Urban Waterfront Study. *Frontiers in Built Environment* Vol5. 71.
- 15) Zohre Bulut, & Hasan Yilmaz (2009) Determination of waterscape beauties through visual quality assessment method. *Environ Monit Assess*. 154:459-468.
- 16) G. MOSER (1984) WATER QUALITY PERCEPTION, A DYNAMIC EVALUATION. *Journal of Environmental Psychology*. 4. 201-210.
- 17) Carter, Mika P. Tarvainen, Graham Smith, Mark Nieuwenhuijsen (2016) Where to put your best foot forward: Psychophysiological responses to walking in natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*. Vol 45. 22-29.
- 18) Chorong Song, Dawou Joung, Harumi Ikei, Miho Igarashi, Mariko Aga, Bum-Jin Park, Masayuki Miwa, Michiko Takagaki & Yoshifumi Miyazaki (2013) Physiological and psychological effects of walking on young males in urban parks in winter. *Journal of Physiological Anthropology*. 32. 18.
- 19) V. F. Gladwell, D. K. Brown, J. L. Barton, M. P. Tarvainen, P. Kuoppa, J. Pretty, J. M. Suddaby & G. R. H. Sandercock (2012) The effects of views of nature on autonomic control. *European Journal of Applied Physiology*. Vol 112. 3379-3386.
- 20) Daniel K. Brown, Jo L. Barton, and Valerie F. Gladwell (2013) Viewing Nature Scenes Positively Affects Recovery of Autonomic Function Following Acute-Mental Stress. *Environ. Sci. Technol*. 47. 11. 5562-5569.
- 21) Roger S. Ulrich (1981) Natural Versus Urban Scenes: Some Psychophysiological Effects. *Environment and Behavior*. Vol 13. 5.
- 22) Dominik R. Bach, Guillaume Flandin, Karl J. Friston, Raymond J. Dolan (2009). Time-series analysis for rapid event-related skin conductance responses. *Journal of Neuroscience Methods*. 184,224-234
- 23) Dominik R. Bach, Samuel Gerster, Athina Tzovara, Giuseppe Castegnetti. (2016). A linear model for event-related respiration responses. *Journal of Neuroscience Methods*. 270,147-155. doi: 10.1016/j.jneumeth.2016.06.001
- 24) Dominik R. Bach, Karl J. Friston, Raymond J. Dolan (2013) An improved algorithm for model-based analysis of evoked skin conductance responses. *Biological Psychology*, ISSN: 0301-0511, Vol: 94, Issue: 3, Page: 490-497.
- 25) Dominik R. Bach, Giuseppe Castegnetti, Christoph W. Kom, Samuel Gerster, Filip Melinscak, Tobias Moser (2018) Psychophysiological modeling: Current state and future directions. *Psychophysiology*. Vol 55, Issue 11.
- 26) Olejnik, S., & Algina, J. (2003). Generalized eta and omega squared statistics: Measures of effect size for some common research designs. *Psychological Methods*. 8, 434-447.
- 27) Elena Trentini., & Elise Dan-Glauser. (2023). Use of a difference index approach to analyze the early dynamic efficiency of reappraisal and suppression. *Methods in Psychology*. Vol 8, 100112.
- 28) Frans A. Boiten , Nice H. Frijda, Cornelis J.E. Wientjes (1994) Emotions and respiratory patterns: review and critical analysis. *International Journal of Psychophysiology*. 17: 103-128.
- 29) Paolo Rama, Stanislav Matuska, Giorgio Paganoni, Alessandra Spinelli, Michele De Luca, Graziella Pellegrini (2010) Limbal stem-cell therapy and long-term corneal regeneration. *N Engl J Med*. 363:147-155.
- 30) Tanya G. K. Bentley, Gina D'Andrea-Penna, Marina Rakic, Nick Arce, Michelle LaFaille, Rachel Berman, Katie Cooley and Preston Sprimont (2023) Breathing Practices for Stress and Anxiety Reduction: Conceptual Framework of Implementation Guidelines Based on a Systematic Review of the Published Literature. *Brain Sci*. 13, 1612.