

脳血流量に基づくグレンジャー因果を用いた
共感性伝播ネットワークの構築による共感性推定手法の提案

Proposal of an Empathy Estimation Method by Constructing an Empathy Propagation
Network Using Granger Causality Based on Cerebral Blood Flow

長谷川孝太郎[†]
Kotaro Hasegawa

浜田百合[†]
Yuri Hamada

栗原陽介[†]
Yosuke Kurihara

1. はじめに

現代の社会問題の一つとして、若者の就職から3年後までの離職率が高いことが挙げられる[1]。内閣府による「2018年版子供・若者白書」[2]によると、初職の離職理由としては「仕事が自分に合わなかったため」、「人間関係がよくなかったため」という対人関係の理由が上位に挙げられている。この対人関係の問題を解決するためには、他者理解と共感性が重要な役割を果たしているといわれている[3]。そこで本研究では、個人の情動知能スケールEQS (Emotional intelligence scale) における共感性に着目する。従来、共感性を評価するにはアンケートが用いられてきたが、主観的であり恣意的に回答することができるという問題点がある。そこで本研究では脳血流量から客観的に共感性を推定する手法を提案する。

2. 提案手法

図1に提案手法を示す。図1は共感性伝播ネットワーク (EPN) モデルと、EPN モデルをもとに NIRS より得られた脳血流量から共感性スコアを推定する信号処理で構成される。

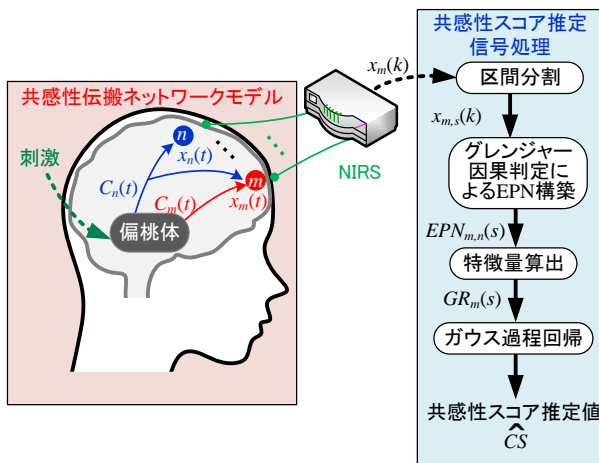


図1 提案手法の概略図

2.1 共感性伝播ネットワークモデル

EPN モデルでは、扁桃体に刺激を与えた際の脳皮質に伝わる電気信号において、共感性に関する成分のうち

M 箇所の前頭前野における場所 m の脳血流量 $x_m(t)$ ($m = 1, 2, \dots, M$)へ影響を与える成分を $C_m(t)$ とする。このとき任意の時刻 t^* における $x_m(t^*)$ は、 $C_m(t)$ ($t < t^*$)および、場所 n の脳血流量 $x_n(t)$ ($n = 1, 2, \dots, M$)へ影響を与える成分 $C_n(t)$ ($n \neq m, t < t^*$)の影響を受けるとする。したがって $x_m(t^*)$ は $x_m(t)$ ($t < t^*$)および $C_n(t)$ により影響を受けた $x_n(t)$ ($n \neq m, t < t^*$)からの影響を受けるとする。この任意の部位 m における $x_m(t)$ が $x_n(t)$ からの影響の有無で構成されるネットワークをEPNとする。また、EPNのネットワーク構造は、扁桃体への刺激を受けている間、任意のタイミングで変化するとする。EPNの刺激による構造の変化の推移は、共感性が高い人と低い人により違いがあるものとする。

2.2 共感性スコア推定のための信号処理

前頭前野における場所 m の脳血流量(酸化ヘモグロビン)をNIRSにより計測した離散時間信号を $x_m(k)$ とする。 k は離散時間ステップとし、 $k = 1, 2, \dots$ とする。次にEPNの構造の変化の推移を考慮するため、 $x_m(k)$ を S 区間に分割し、任意の区間 $s (= 1, 2, \dots, S)$ ごとにEPNを作成する。区間 s における脳血流量を $x_{m,s}(k)$ とし、 s におけるEPNを $EPN_{m,n}(s)$ とする。 $x_{n,s}(k)$ が $x_{m,s}(k)$ に影響を与えている場合は $EPN_{m,n}(s) = 1$ 、 $x_{n,s}(k)$ が $x_{m,s}(k)$ に影響を与えていない場合は $EPN_{m,n}(s) = 0$ とする。 $EPN_{m,n}(s)$ における影響の有無は、グレンジャー因果性の有無から決定する。グレンジャー因果性の判定では、区間 s における任意の時刻 k における $x_{m,s}(k)$ にたいし、以下の2つのモデルを考える。

(モデル 1)

$$x_{m,s}(k) = c_0 + a_1 x_{m,s}(k-1) + \dots + a_p x_{m,s}(k-p) + w_{m,s}(k) \quad (1)$$

(モデル 2)

$$x_{m,s}(k) = c_0 + a_1 x_{m,s}(k-1) + \dots + a_p x_{m,s}(k-p) + b_1 x_{n,s}(k-1) + \dots + b_q x_{n,s}(k-q) + w_{m,n,s}(k) \quad (2)$$

(1), (2)式において $c_0, a_1 \sim a_p, b_1, \dots, b_q$ は各モデルの係数、 p, q は $x_{m,s}(k), x_{n,s}(k)$ の次数とする。 $x_{n,s}(k)$ は場所 $n (= 1, 2, \dots, M, n \neq m)$ における脳血流量とする。また $w_{m,s}(k), w_{m,n,s}(k)$ は各モデルの誤差項とする。 $x_{m,s}(k)$ にたいし各モデルへ最小二乗法を適用することで係数 $c_0, a_1 \sim a_p, b_1, \dots, b_q$ および誤差 $w_{m,s}(k), w_{m,n,s}(k)$ を求め、 $w_{m,s}(k), w_{m,n,s}(k)$ における二乗和 SSR_m, SSR_{mn} を求める。 SSR_m, SSR_{mn} にたいし(3)式より qF を算出する。

[†] 青山学院大学 理工学部 経営システム工学科
Department of Industrial and Systems Engineering, College of
Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

$$qF = \frac{SSR_m - SSR_{mn}}{\frac{SSR_{mn}}{N - (p + q) + 1}} \quad (3)$$

自由度 q の χ^2 分布において、 qF にたいする p 値を求め、 p 値 < 有意水準 α であれば $x_{n,s}(k)$ から $x_{m,s}(k)$ へのグレンジャー因果があり $EPN_{m,n}(s) = 1$ とする。また、 p 値 > 有意水準 α であれば $EPN_{m,n}(s) = 0$ とする。求めた $EPN_{m,n}(s)$ において、任意の場所 m における特徴量を

$$GR_m(s) = \sum_{n=1}^M EPN_{m,n}(s) \quad (4)$$

とする。以上より、各 m ごとに S 個の特徴量 $GR_m(s)$ を算出する。

共感性スコアの推定においては、任意の場所の組み合わせにおける $GR_m(s)$ を説明変数、アンケートにより得られた共感性スコアを目的変数とし、ガウス過程回帰を適用することで共感性スコアの推定値 \widehat{CS} を求める。

3. 検証実験

本実験では扁桃体への刺激として暴力的な動画の視聴をタスクとして設定する。各被験者には EQS への回答後、30 秒間の安静状態および約 36 秒間の動画視聴を行ってもらい脳血流量の計測を行う。脳血流量は、国際法 10-20 法における fpz 周辺において前頭前皮質にあたる 10 か所 ($M=10$) を、ウェアラブル光トポグラフィ (WOT-100) を用いてサンプリング周波数 5Hz で計測する。使用した NIRS における 7ch~16ch が、場所 $m = 1 \sim 10$ に対応する。区間数 S は $S=3$ とした。被験者は 20 代 18 名 (男性 17 名、女性 1 名) とし、本実験は青山学院大学倫理審査委員会による倫理審査を受け、承認を得たうえで行われた (承認番号 H21-004)。推定精度の評価として被験者毎のスコア推定値 \widehat{CS} とアンケートで得られたスコアの真値の相関係数および、RMSE を用いる。

4. 結果および考察

有意水準 $\alpha=0.001, 0.01$ とモデルの次数 $p=q=2, 3, 4, 5$ それぞれの場合における相関係数および RMSE を表 1 に示す。NIRS におけるチャンネルは 8ch, 9ch, 13ch, 15ch を用いた。

表 1 有意水準 α と次数 p, q 毎の相関係数および RMSE

p, q	相関係数		RMSE	
	$\alpha = 0.001$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.001$	$\alpha = 0.01$
2	0.23	0.57	4.93	4.18
3	0.96	0.25	1.31	5.00
4	-0.50	-0.50	7.29	7.29
5	-0.15	0.59	5.91	3.97

表 1 より $\alpha=0.001, p=q=3$ で相関係数は 0.96, RMSE は 1.31 となり、最もよい結果となった。このことから共感性推定に役立つ成分が $\alpha = 0.001$ と 0.01 の間に含まれてい

ることがわかる。次に $EPN_{m,n}(s)$ におけるチャンネル同士の関係を見るために特徴量として用いた $GR_2(s), GR_3(s), GR_7(s), GR_9(s)$ のもとになるグレンジャー因果の有無を表した $EPN_{m,n}(s)$ を共感性得点が高い被験者と低い被験者の場合で示す。 $EPN_{m,n}(1)$ を図 2, $EPN_{m,n}(2)$ を図 3, $EPN_{m,n}(3)$ を図 4 に示す。

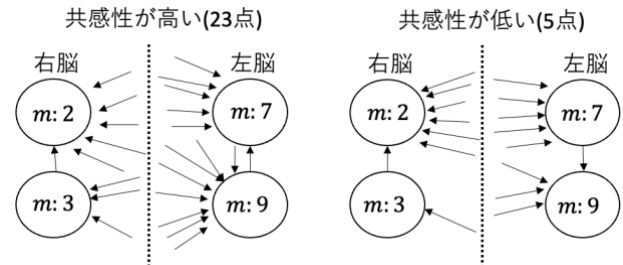


図 2 $EPN_{m,n}(1)$

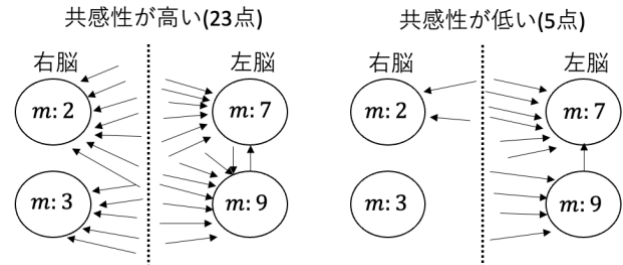


図 3 $EPN_{m,n}(2)$

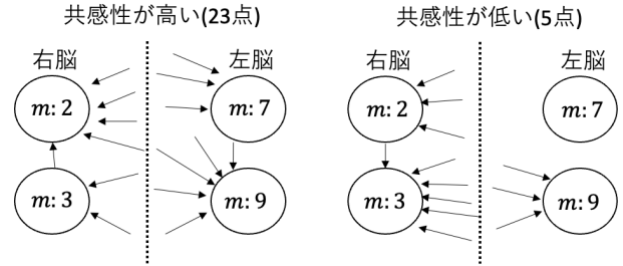


図 4 $EPN_{m,n}(3)$

図 2 から図 4 を見ると、共感性が高い被験者は低い被験者と比べて他の場所とのリンクが多いことがわかる。特に $EPN_{m,n}(2)$ において顕著に表れている。

5. むすび

本研究ではグレンジャー因果で得られた EPN をもとにした特徴量にたいしガウス過程回帰を適用することによって EQS の共感性スコアを推定した。相関係数は 0.96, RMSE は 1.31 となった。

参考文献

- [1] 厚生労働省：新規学校卒業就職者の在職期間別離職状況, <https://www.mhlw.go.jp/content/11650000/000689563.pdf>, 2017.
- [2] 内閣府：2018 年版子供・若者白書 https://www8.cao.go.jp/youth/whitepaper/h30honpen/pdf/b1_00toku_02.pdf, 2018.
- [3] 溝川藍子, 安増生：他者理解と共感性の発達, 心理学評論, Vol. 58, No. 3, pp. 360-371, 2015.