

I. 序と目的

認知神経心理学の分野では、身体感覚は我々の自己意識の成立に大きく関与していると考えられている。Gallagher(2000)は身体感覚は、その身体は自分の身体であるという感覚を指す身体保持感と、観察される運動が自身によって引き起こされたものだという感覚を指す運動主体感の 2 つから構成されると述べている。身体感覚の形成には、視覚情報と体性感覚・触覚情報の時間的な整合性が重要であることがわかっているが(嶋田・開, 2005)、通常これらメカニズムは意識に上ることはなく、我々の身体感覚は基本的に不变のものとして成立している。

一方、自分ではない他の対象に対してそれを自己の身体であるかのように認識する、身体感覚の転移と呼ばれる現象がある。Ehrsson(2007)や Lenggenhager et al(2007)は、ヘッドマウントディスプレイとビデオカメラを用いて自身を背後から観察している状況のもと、触刺激と視覚刺激の双方から身体保持感を実験的に操作したところ、いわゆる幽体離脱のような感覚を引き起こすことに成功したと報告している。過去の感覚転移研究は、転移対象が視覚上に存在し、その対象に身体感覚が転移するというものであったのに対し、彼らの研究では転移対象は視覚上には特に存在せず、参加者の主観的な身体位置が他の場所へと移動することで、その場所に身体感覚が転移するという結果となった。

従来の研究の多くは、ユーザーの身体感覚をロボット等へ転移させることで、災害現場等、直接人間の感覚では認識不可能な環境に対して、自分は遠隔地にいながら、現場でリアルタイムに操作をしているかのような臨場感を持たせることを目的としているが、操作対象との一体感を強めるという点においては、いかにそれら作品世界に自己を投影できるかということがより強い没入に繋がるコンピュータ・ゲーム等のエンターテイメント分野においても応用可能であると考えられる。しかし主観的な身体位置の移動に関する研究は未だ数少なく、運動主体感を通じて、同様の現象が生じるかどうかは検討されていない。またこれら身体感覚の転移を対象とした研究では、感覚転移の程度を定量化する手法が十分に確立されていないことも問題点として指摘できる。これまで転移程度の確認には、質問

紙回答による主観報告が用いられる事が多く、実験参加者が実験者の要求に合わせて回答してしまう可能性が高い。一方、より客観的な定量化を試みるべく、実験参加者の生体反応を計測している研究は幾つか存在するが、未だ十分な知見が得られてはおらず、また主に工学系分野において行われているため、結果の心理学的な解釈に欠けること、測定環境が高価・大規模といった理由からより安価なセンサー、計測システムを用い定量化を行うことが望まれる。

上記をふまえ本研究では、参加者の頭部運動をCGにて作成したシーン内のカメラにリアルタイムに反映させ、刺激映像をヘッドマウントディスプレイ(HMD)に呈示することで、運動主体感に起因したシーン内への主観的な身体位置の移動という状態を作り出すことを第一の目的とする。また、運動結果の予測と視覚フィードバックとの一致による身体感覚の転移に至るまでには、感覚運動学習成立の過程を含むと考えられるが、感覚運動学習が阻害された際には、ストレス反応が生じる。感覚運動学習阻害を生じさせる課題として代表的な鏡映描写課題遂行時には、末梢血管の収縮による血圧の上昇が観察されることが知られている(Kasprowicz, Manuck, Malkoff & Krantz, 1990; Waldstein, Bachen & Manuck, 1997; 長野, 2002)。そこで本研究では、実験冒頭に操作訓練の期間を設け感覚運動学習を成立させた後、機器の操作性を落とすことで成立した学習を阻害し、その際発生するストレス反応をモニタすることで、主観的な身体位置の移動に伴う身体感覚の転移という現象を定量化することを第二の目的とする。

II. 方法

大学生 20 名(男性 8 名、女性 12 名)を対象に、課題画面中央に表示される円に、移動するキャラクターを収め続ける課題を行わせた。参加者の頭部運動は HMD に搭載した自作モーションセンサーにより測位され、CG シーン内のカメラの動作に反映された。

課題の際には時間遅延条件および低操作解像度条件を設けた。時間遅延条件では、実験参加者の頭部の動きをハイカットフィルタ(カットオフ周波数 0.4Hz)により処理し、頭部運動に対し、視覚刺激に遅れが生じるよう設定した。低操作解像度条件では、操作訓練時および時間遅延条件で 0.1° 単位で反映されていた参加者の頭部運動を 1° 単位で反映させ、視点移動の円滑さを低減させた。予備実験にて、両条件の主観的な課題のやりにくさは統制した。

一般感情尺度(小川ら,2000)を用い主観感情を、独自作成した 3 項目を用い CG シーン内への感覚転移を、松島ら(2011)を参考に作成した 8 項目を用い課題に対する没入を測定した。また、生理指標として心拍数(HR)、指尖血流量(FBF)、皮膚コンダクタンス(SCC)を測定した。

実験は順応セッションと阻害セッションから構成された。順応セッションの訓練では、実験参加者の頭部の Pitch/Yaw 双方向の動作に、特に処理を加えず視覚刺激に反映させた。阻害セッションの課題期では、前半 3 分間は訓練と操作性は同様のものとしたが、後半 3 分間は実験参加者の頭部の Pitch/Yaw 双方向の動作に時間遅延、あるいは操作解像度低下の処理を施した。条件の施行順序はカウンターバランスした(付録図 1 参照)。

III. 結果と考察

はじめに心理指標について考察すると、平均感覚転移得点は参加者の運動と視覚情報が同期し、且つ操作解像度も高い訓練で最も高くなり、時間遅延や操作解像度低下という阻害を行った際に得点が低下した(付録図 2 参照)。このことから、訓練において主観的な身体位置が CG 内へ移動していた可能性が高いと考えられる。従来の主観的な身体位置の移動に関する研究は、身体保持感を操作することで生じさせていたが、本研究では運動主体感を操作することで、同様の状態を誘発することができたと考えられる。これは、運動結果の予測と視覚フィードバックとの一致が、仮想現実環境上の視覚刺激に対する身体保持感や運動主体感には重要であるという Short&Ward(2009)の知見と一致するものであった。一方、平均感覚転移得点は、訓練に比べ低操作解像度条件において有意に低下した。低操作解像度条件では「通常視点は流れるものであるのに対していちいち停止するのが違和感」といった内省報告がなされ、現実的な体験と明らかに乖離するために、感覚転移が大きく阻害されたと考えられた。

平均没入得点に関しては、条件間に有意な差が認められなかった。しかし、項目別に検討すると、操作性を悪化させた際には条件に関わらず「迫力」は有意に低下し、「違和感」「疲れ」は有意に増加することが示された。本研究にて見られた没入得点の変化は、項目作成の際に参考にした松島ら(2011)の研究における高没入状態の反応とは、必ずしも一致する結果とはならなかった。これは、松島ら(2011)の研究と本研究とでは実験的な操作を行った要因が異なるため、実験参加者の回答対象が両研究間で異なっていた可能性が高く、結果に一貫性がみられなかつたと理解できる。そのため、没入の度合いを適切に測るためには、項目回答の際に適切な教示文を提示する必要があると考えられる。

次に生理指標について考察すると、順応セッションの訓練では HR および SCC の上昇、FBF の下降がみられた(付録図 4,5 参照)。これは課題が上手くできないことに起因すると考えられ、NA の上昇、PA および CA の低下といった主観感情の変化からも裏付けられる。しかし訓練後は機器の操作に慣れ感覚運動学習が成立し、心身共にストレスの無い状態

で課題を遂行できたため、反応が大幅に減衰したと考えられる。このような段階では、課題の遂行は多分に無意識的に行われると考えられ、前述の主観評定だけでなく生体反応からも身体感覚の転移が高まった状態であったことが予想される。

次に、生理指標を用いた感覚転移の定量化について考察する。操作性:悪から操作性:良の生体反応を減じたものを、感覚転移の指標として定量化することを試みたが、HR、FBF、SCC の低操作解像度条件においては、変化量が当初の想定よりも少なく、SCC の時間遅延条件のみにおいて明確な変化が認められた。さらに、変化がみられた時間遅延条件は、パフォーマンスの低下が著しいことから(付録図 3 参照)、このような SCC の変化は、感覚転移阻害による影響ではなく、課題難易度上昇による交感神経活動の賦活を反映したものに見受けられた。しかし、参加者の個別の変動には課題パフォーマンスだけでなく、転移の影響が含まれる可能性があるため、生体反応の変化が転移の程度を反映しているのか、あるいは難易度上昇を反映しているのかを検討すべく、操作性:良から操作性:悪への各生体反応変化に関し、感覚転移得点変化量、没入得点変化量、課題パフォーマンス変化量のそれぞれの間での相関係数を求めた。

時間遅延条件における相関(付録図 6 参照)に目を向けると、課題パフォーマンス変化量と SCC 変化量に有意な正の相関が認められた。これは課題パフォーマンスが低下するほど SCC 変化量は少ないことを意味しており、SCC の上昇は課題難易度の上昇を反映するという前述の解釈とは一致しないものであった。これは、課題が難しくなり動機づけの下がった参加者はパフォーマンスの低下と共に SCC の変化が乏しくなったが、動機づけの下がらなかつた参加者は、パフォーマンスを維持しようと努力したため、パフォーマンスはそれほど下がらず、SCC が上昇したことが原因であると理解できるかもしれない。さらに、HR 変化量と感覚転移得点変化量との間には、有意な負の相関が見られた。これは、感覚転移得点が低下するほど HR 変化量が多いことを意味している。言い換えれば、感覚転移得点が高まるほど、HR が低下することを意味する。本研究の課題は、画面中央に表示される円の中に、前方を歩いているキャラクターを収め続けるというものであった。

Lacey&Lacey(1974)によると、外界への注意を払う課題においては、HR が減少すると述べられている。前述したように時間遅延条件では感覚転移は大きく阻害されず、課題に対する注意が持続していたと思われる。これらのことから、感覚転移が高まった状態というのは、課題に対する注意が高まった状態であるといえるだろう。

次に低操作解像度条件における相関(付録図 7 参照)に目を向けると、複数の没入得点変化量と生体反応変化量の間においてのみ、有意な負の相関が認められた。具体的には、「ゆれ」「疲れ」の得点が高くなると FBF が低下し、「迫力」「没入感」の得点が低くなると SCC が増加するという関係性が示された。低操作解像度条件では、カメラの移動が円滑でないため、結果として参加者は横方向のゆれを強く知覚したものと思われる。FBF の低下はこのような違和感を反映したものと考えられ、主観評定の NA 得点が上昇することによっても裏付けられる。「迫力」「没入感」の低下も違和感を反映したものであり、SCC の上昇は急激な操作性の変化を反映したものであると考えられる。実際に、「時間遅延条件に比べて低操作解像度条件は操作性の変化に気づきやすい」という内省報告も得られ、実験参加者の操作性:良から操作性:悪への切り替わりの知覚しやすさが上記の反応を引き起こしたといえるだろう。

本研究から、先行研究で報告されたような身体保持感ではなく、運動主体感を通して主観的な身体位置が他の場所へと移動し、その場所へと身体感覚を転移させることができた可能性が伺えた。また、参加者の運動が CG シーン内に反映される際には、操作解像度低下は、時間遅延よりも感覚転移を大きく阻害し、身体感覚の転移を支える重要な要因である可能性が示唆された。さらに、操作性:良から操作性:悪への生体反応変化量と、感覚転移得点、没入得点のそれぞれの相関関係を調べたところ、低操作解像度条件では没入得点の変化が、時間遅延条件では感覚転移得点の変化が、それぞれ生体反応に影響を及ぼした。特に、感覚転移得点の増加は課題に対する注意を誘発し、HR の減少を引き起こす過程が想定でき、HR 変化量から身体感覚の転移という現象を定量化できる可能性が示唆された。

IV.引用文献

- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, **391**, 756.
- Ehrsson, H. H. (2007). The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences. *Science*, **317**, 1048
- Hari, R., & Jousmaki, V. (1996). Preference of personal to extrapersonal space in a visuomotor task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **8**, 305-307
- Kasprowicz, A. L., Manuck, S. B., Malkoff, S. B., & Krantz, D. S. (1990). Individual differences in behaviorally evoked cardiovascular response: temporal stability and hemodynamic patterning. *Psychophysiology*, **27**, 605-619.
- Lenggenhager , Tadi , Metzinger , Blanke (2007). Video Ergo Sum: Manipulating Bodily Self-Consciousness. *Science*, **317**, 1096
- 松島一浩・佐藤美恵・春日正男・橋本直己 (2011). 室内空間における魚眼レンズを用いた没入型映像呈示の検討. *映像情報メディア学会誌*, **65**, 1011-1015
- 長野祐一郎 (2002). 鏡映描写時における圧反射感度の変化:課題難易度の影響, 生理心理学と精神生理学, **20**, 233-239.
- 小川時洋・門地里絵・菊谷麻美・鈴木直人 (2000). 一般感情尺度の作成, 心理学研究, **71**, 241-246.
- Short, F. and R. Ward (2009). "Virtual limbs and body space: Critical features for the distinction between body space and near-body space." *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **35**, 1092-1103.
- 渡辺哲矢・小川浩平・西尾修一・石黒浩 (2009). 遠隔型アンドロイドとの同調感により誘起される身体感覚の延長, 電子情報通信学会技術研究報告 HCS ヒューマンコミュニケーション基礎, **108**, 19-24,

V. 付録

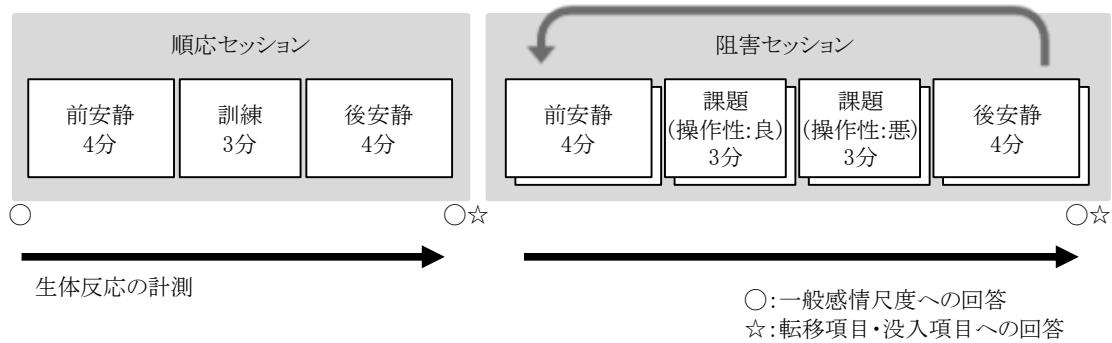


図1 実験スケジュール

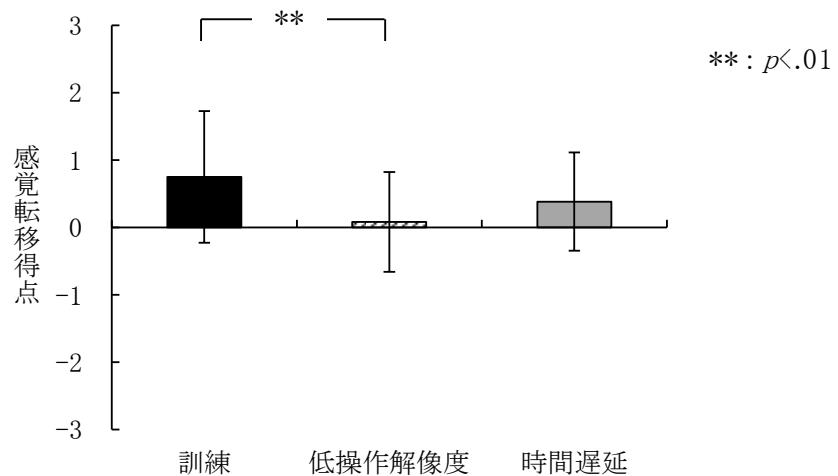


図2 課題遂行時における各条件の平均感覚転移得点

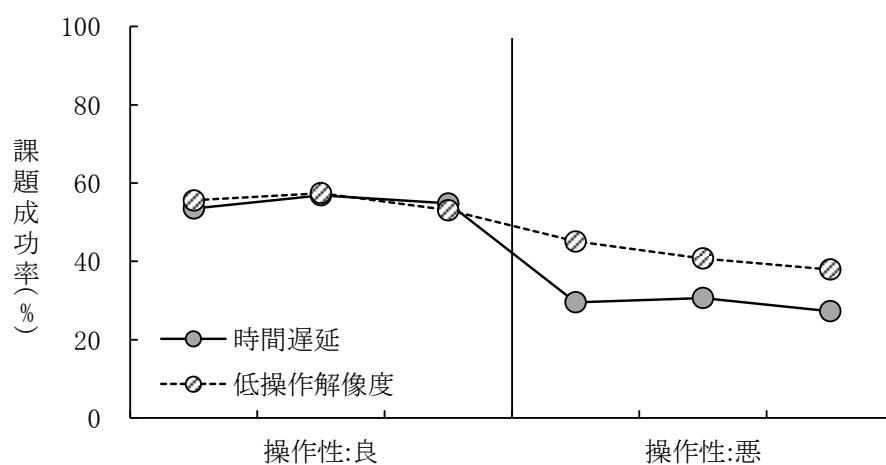


図3 阻害セッションにおける各条件のパフォーマンスの変化

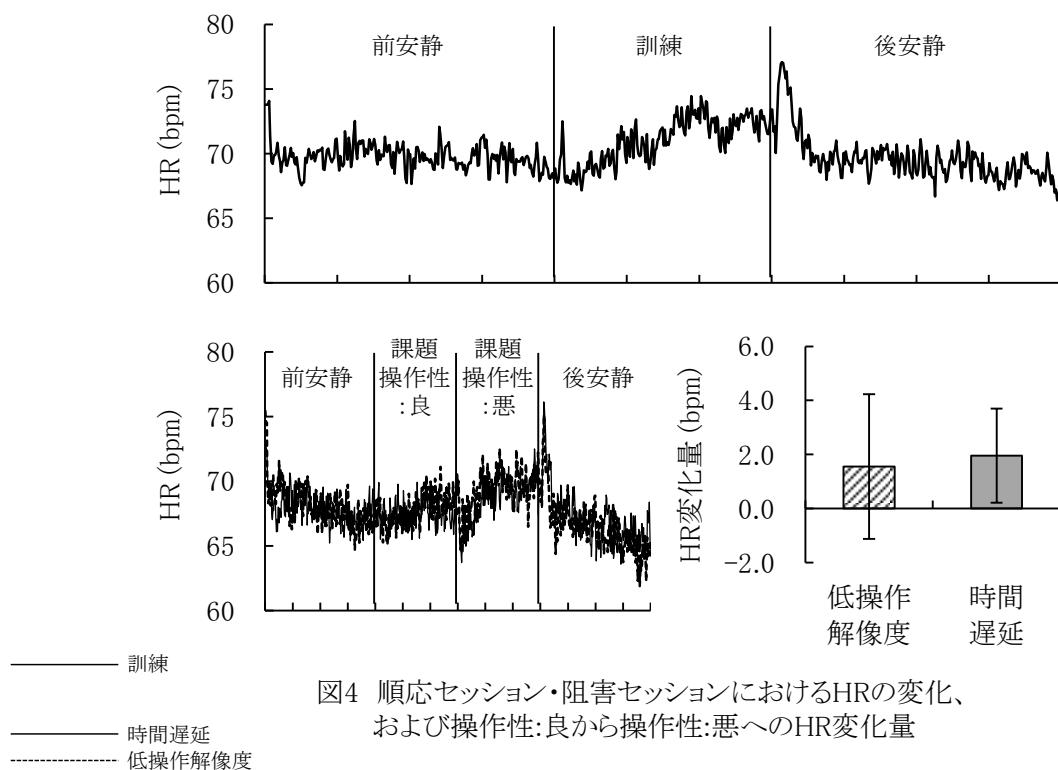


図4 順応セッション・阻害セッションにおけるHRの変化、
および操作性:良から操作性:悪へのHR変化量

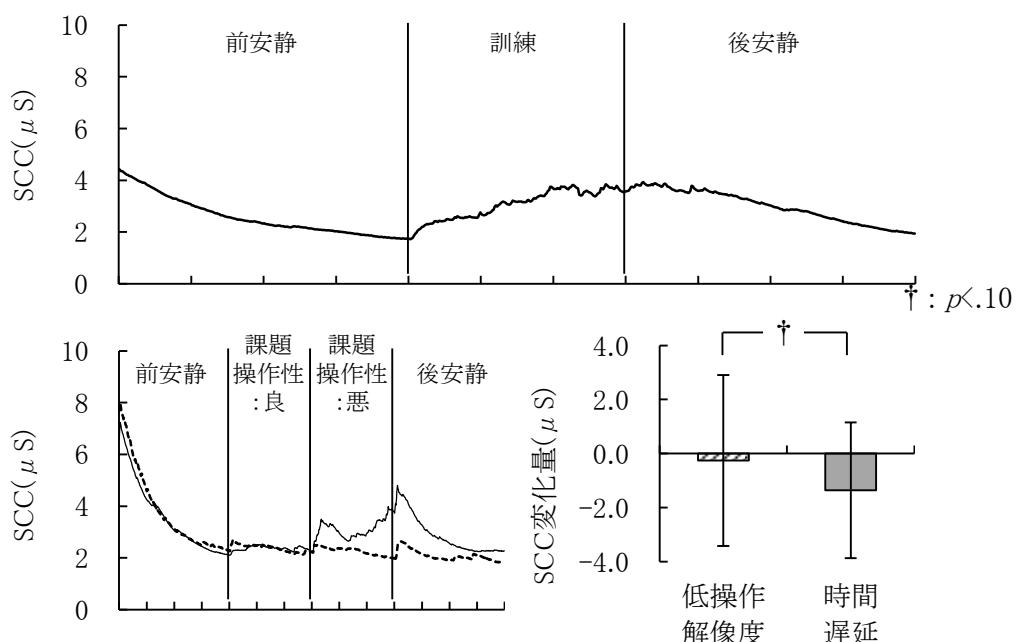


図5 順応セッション・阻害セッションにおけるSCCの変化、
および操作性:良から操作性:悪へのSCC変化量

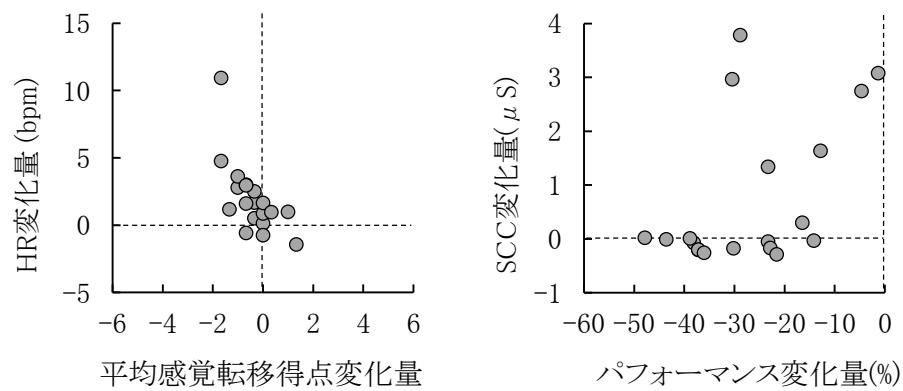


図6 時間遅延条件における生体反応変化量に関する
感覚転移項目・没入項目の各変化量との相関

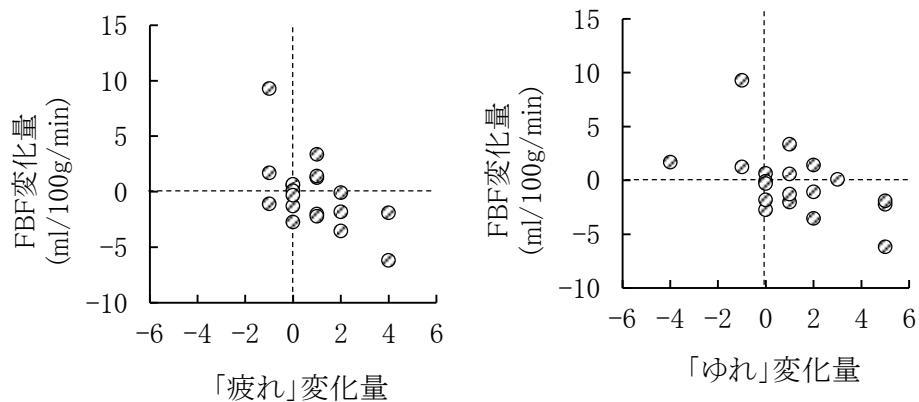


図7 低操作解像度条件における生体反応変化量に関する
感覚転移項目・没入項目の各変化量との相関