

CG モデルへの運動操作の一致性の高さは 身体所有感を喚起する

渡邊 翔太 川合 伸幸

概要: 本研究では、1) CG モデルへ反映される運動の一致性が異なることで、獲得される運動主体感が異なるかどうか、2) 先行して参加者の運動主体感を誘発することによっても、それに伴って対象への身体所有感が誘発されるかを検討することを目的とした。その結果、心理指標では、CG モデルに反映される運動の一致性が上昇するに伴い、運動主体感と身体所有感の両方に関連する得点がそれぞれ線形に高くなった。一方、身体所有感のみ反映する生理反応では、一致性の上昇にあわせて操作対象の CG モデルに対する身体所有感は線形には上昇せず、あるところで急激に高まるシグモイド曲線的なパターンを示した。心理・生理反応の双方から測定することにより、従来の、受動的に刺激を受容することで、自己の身体以外への対象に身体所有感を有するようになった研究とは異なり、まず自身の運動によって運動主体感を獲得し、それを通じて自己所有感が得られることをはじめて示した。また、CG モデルに対する運動主体感は操作対象に実際の運動との一致性が高いほど強まるが、そのモデルに対する身体所有感は、かなり高い運動主体感をもたなければ獲得されないことが明らかとなった。

A Full Contingency between The Actual and The Virtual Actions Are Crucial to The Sense of Ownership

SHOTA WATANABE NOBUYUKI KAWAI

Abstract: We feel as if we exist in a virtual reality world especially when our actions are directly projected on a CG character in the VR world. Such feelings are said to be achieved by a sense of ownership for the CG characters. Previous research suggests that the synchronicity between somatosensory input and visual information are crucial to attain this sense of ownership. Despite a number of researches investigated the temporal synchronizations between actual and virtual actions, no study has assessed how discrepancies of contingency between them affect the sense of ownership. Here we employed a “rock-paper-scissors” game task in a virtual reality world in which the players’ actions (i.e., rock, paper, or scissors) were projected the actions of a CG character with zero (0%), low (33%), moderate (66%), or full (100%) contingencies. The results showed that the sense of ownership in terms of subjective reports increased as a function of contingencies. As a probe test after completion of 100 trial games of each contingency, the CG arm was suddenly almost cut by a Japanese sword. Only the systolic blood pressure after the full contingency-condition increased higher than those of the other three contingency-conditions, suggesting that any subtle decrements of contingency lose the sense of ownership drastically in terms of a physiological measure. In other words, there was a discrepancy between the psychological and physiological sense of ownership at the moderate contingency. A temporal de-synchronization can be acceptable; however, a decrement of contingency between actual and virtual actions will lose the sense of ownership.

1. はじめに

我々の自己認知というものは、鏡に映った自己像に対する反応を調べることににより調べられてきた。幼児に気づかれないように頭部に印をつけ鏡を見せるマークテストを行うと、2 歳児では鏡に映った自己像を見ながら、自分の頭につけられた印に触れることができる。この鏡像認知能力は、ヒトに限らずチンパンジーでも同様に確認されており[1]、鏡映像の認知ができることが、自己認知ができることの証拠と考えられてきた。

しかし、近年ではそのような単純な自己認識ではなく、我々が認知している自己というものは、過去の記憶から未来の展望まで含めたアイデンティティとしての自己である Narrative Self と、経験から即時的に形成される身体的な自

己である Minimal Self の双方から構成されると主張されており、さらに Minimal Self は、その身体が自分の身体であるという感覚である身体所有感 (Sense of Ownership) 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である運動主体感 (Sense of Agency) の 2 つに分類される[2]。これまでの研究で、この Minimal Self の形成には、体性感覚と視覚の両感覚から入力される運動情報の時間的な同期[3][4]、行動結果の予測と、実際の結果のフィードバックとの一致[5]が特に重要であると指摘されている。

これらメカニズムは通常、意識に上ることはなく、我々の自己認知は基本的に不変のものとして成立している。しかし時として、自分以外の対象を自分の身体であるかのように錯覚することがある。例えば、熊手状の道具で餌を引き寄せる訓練をニホンザルにさせると、素手のときには手の部分にあった視覚受容野が道具に沿って延長することから、道具使用に伴って自己の身体像が変化する、つまり間

接的に身体所有感が獲得されるという事例も報告されている[6].

前述した自己認知のメカニズムに当てはめると、サルの道具使用の実験では、道具使用という運動を伴うため、運動主体感を刺激することによって、身体所有感が誘発されたといえよう。しかし、この実験のように、先行して参加者の運動主体感を誘発し、それに伴って対象への身体所有感を喚起させるという研究は行われておらず、参加者の身体所有感を刺激するもの、また参加者の運動要素を伴わないものが大半を占めている。

さらに従来の研究では、時間遅延等あったとしても、義手と参加者には同等の刺激が与えられる、参加者の動作が対象に正確に反映されるといったケースが多く、行動の結果はユーザーと対象の間で常に一致していることが多い。では、参加者の動作と操作モデルの動作の間に遅延は無いが、一致性のみが低いというような場合においては、運動主体感や身体所有感は生じるのであろうか。これまでに運動の一致性をパラメトリックに操作した、つまり実際の運動とは異なる運動が仮想世界で繰り出されるという状況で身体所有感がどのようになるかを検討した研究は行われていない。

以上をふまえ本研究では、1) 先行して参加者の運動主体感を誘発することによっても、それに伴って対象への身体所有感が誘発されるか、2) CG モデルへ反映される運動の一致性が異なることで、獲得される感が異なるかどうか、を検討することを目的とした。

2. 方法

実験参加者

大学生 28 名を対象とした。男性 12 名、女性 16 名で、平均年齢は 23.32 歳 ($SD = 3.86$) であった。

装置

本研究では、参加者の動作が反映される前腕 CG モデルを使用した。モデルの作成には、Unity Technologies 社製ゲーム開発エンジン Unity Ver4.6.3 を使用した(図 1)。参加者の動作は、曲げセンサー (Spectra Symbol 製 F9F316) と 3 軸磁気・加速度センサー (ST Micro 社製 LSM303DLH)、および XBEE モジュールを搭載した Arduino FIO を組み合わせた自作モーションセンサーにより測位し、前腕 CG モデルに反映した(図 2)。視覚刺激は Oculus VR 社製ヘッドマウントディスプレイ Oculus Rift 上に呈示した。

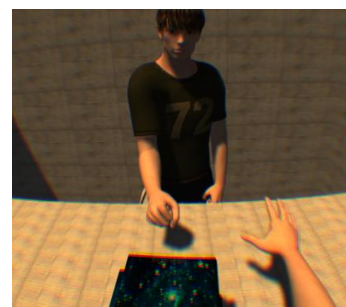


図 1 Unity で作成した映像刺激

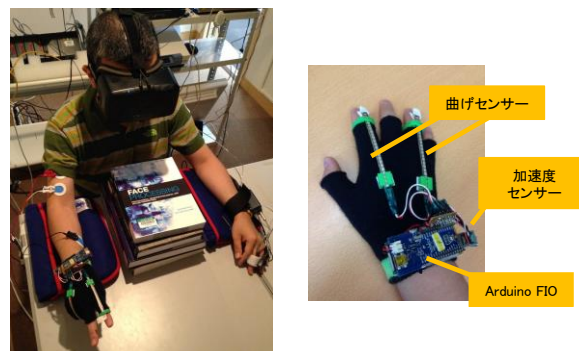


図 2 自作モーションセンサーの構成と装着の様子

測定指標

心理指標として、独自に作成した 7 項目の質問項目を用いて、運動主体感、身体所有感、操作モデルの外観の印象、主観的な勝率について測定した。運動主体感、身体所有感については 1~7 の 7 段階評定で回答を求め、主観的な勝率については 0 勝, 10 勝...90 勝, 100 勝の 11 段階で回答を求めた。

従来の研究の多くは、操作モデルにナイフが刺さる等の嫌悪刺激を呈示した際の、皮膚電気活動を測定し、その反応量を、身体所有感の指標として扱っているが、ストレス事象経験時には、交感神経系そのものが活性化し、皮膚電気活動だけでなく、心臓血管系を含む自律神経系指標の反応増大が生じる。そこで本研究では、生理指標として、汎用生体アンプ BIOPAC MP150 を用いた、皮膚コンダクタンス水準 (Skin Conductance Level : SCL)、筋電図 (Electromyography : EMG) の測定に加え、連続血行動態測定装置 Finometer MIDI を用いて、収縮期血圧 (Systolic Blood Pressure : SBP)、拡張期血圧 (Diastolic Blood Pressure : DBP)、心拍数 (Heart Rate : HR)、一回心拍出量 (Stroke Volume : SV)、全末梢血管抵抗 (Total Peripheral Resistance : TPR) を測定した。このように、心臓血管系指標を個別に評価することにより、身体所有感を、よりシステムティックに捉えることが可能になると考えられる。

手続き

実験に先立ち、実験の流れおよび課題の説明を行い、インフォームドコンセントをとった。本実験では、一定の学習期間を設けた後、テスト期間へと移った。学習期間では、機器を装着した状態でじゃんけん課題を 100 回行わせた。じ

じゃんけん課題中は「じゃんけん、ぽん」という音声が入一定間隔で呈示され、参加者はこの音声に合わせて課題を行った。具体的には、「じゃんけん」の音声呈示時に腕を振り上げ、「ぽん」の音声呈示時に腕を振り下ろした。参加者には必要最低限の腕の上下運動以外は行わないよう求めた。

課題実施にあたって、操作対象の一致性に、100%、66%、33%、0%の4つのパターンを設定した(合計400回)。この一致性が高いほど、参加者の出したじゃんけんの”手”が正しく前腕CGモデルに反映されるというものであった。具体的には、いずれの条件においても、参加者の腕の上下運動は遅延なく、正確に前腕CGモデルに反映されるが、一致性100%では、参加者がグーを出すと同腕CGモデルも同じようにグーを出す、一致性33%では、参加者の出した”手”は33%の確率でしか前腕CGモデルに反映されず、グーを出してもチョキやパーがでるというものである。なお、操作対象の一致性のパターンに関わらず、じゃんけん課題の勝率は33%と一定とした。

カウンターバランスがとられたそれぞれの条件で仮想世界で100回じゃんけん課題を行った15秒後に、前腕CGモデルの直上に刀が振り下ろされる嫌悪刺激(図4)を15秒間呈示し、それに伴って生じる生理反応の計測を行った(テスト期間)。その後、操作対象への身体所有感をどれだけ感じていたか回答させた。質問項目の得点は運動主体感と身体所有感の得点として、生理反応の反応量は、身体所有感のみの測定指標として扱うこととした。本実験の手続きを以下の図4に示した。

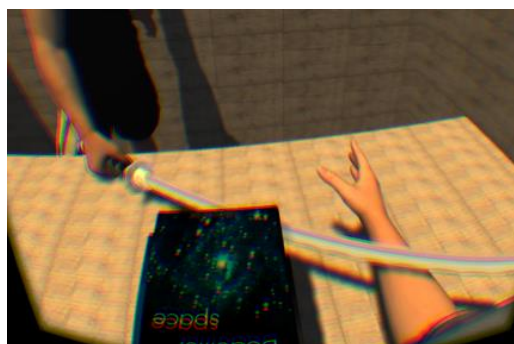


図3 テスト期間に呈示される前腕モデルへの嫌悪刺激

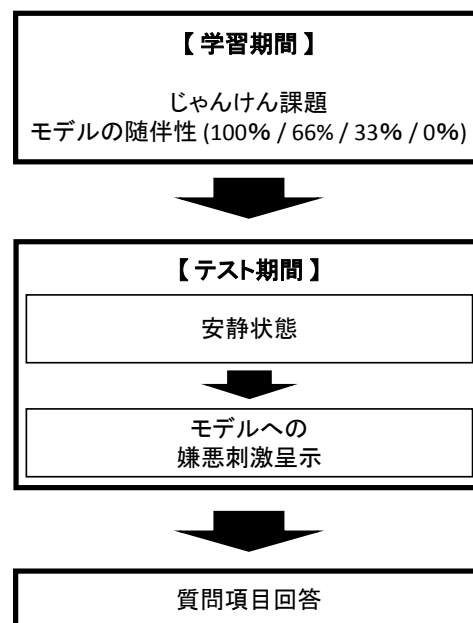


図4 実験の流れ

3. 結果

心理指標

操作モデルへの運動主体感に関する『CGの腕は、どれくらい自分のいうことを聞いていたか』項目の得点に関して、各条件の平均値を算出し以下の図5に示した。

数値が大きいほど、前腕モデルの主観的な一致性が高いことを意味する。

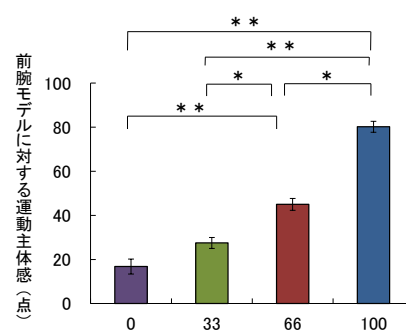


図5. 条件ごとの運動主体感に関する項目の得点

運動主体感に関する項目の得点は、一致性100%で最も高く、操作対象の一致性が上がるにつれ、線形に高くなった($F(3, 81) = 73.11, p < .01$)。

続いて、操作モデルへの身体所有感に関する『CGの腕が、あたかも自分の腕のように感じた』項目の得点に関して、各条件の平均値を算出し以下の図6に示した。

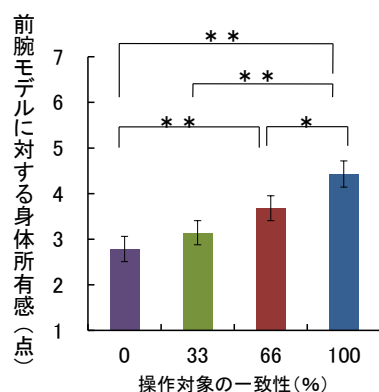


図 6. 条件ごとの身体所有感に関する項目の得点

身体所有感に関する項目の得点も同様に、操作対象の一致性が上がるにつれ、得点は線形に高くなった ($F(3, 81) = 16.22, p < .01$)。

続いて、じゃんけん課題中の主観的な勝率に関して、各条件の平均値を算出し以下の図 7 に示した。

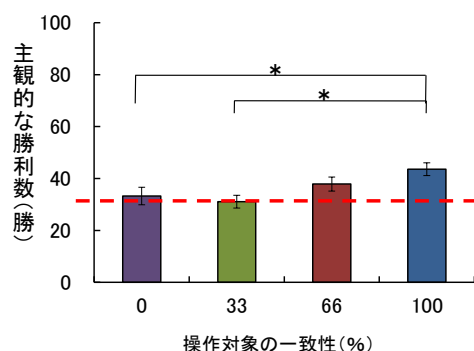


図 7. 条件ごとの主観的な勝率に関する項目の得点

一致性 100%では、他の条件に比べ主観的な勝率が有意に高くなり ($F(3, 81) = 4.27, p < .01$)、また一致性 66%, 100%では実験操作によるじゃんけん課題中の一定の勝率 (33%) に比べ主観的な勝率は有意に高くなった。

生理指標

前腕 CG モデルへの嫌悪刺激前 5 秒間から、嫌悪刺激呈示後 5 秒間への変化量を参加者毎に算出し、全実験参加者の平均値を算出した。各生理指標の結果を、以下の図 8~14 に示した。

一般的に、ストレス事象経験時には交感神経系が活性化し、自律神経系指標の反応増大が生じる。そのため、本研究では、操作対象への身体所有感が強く生じていることとして扱う。

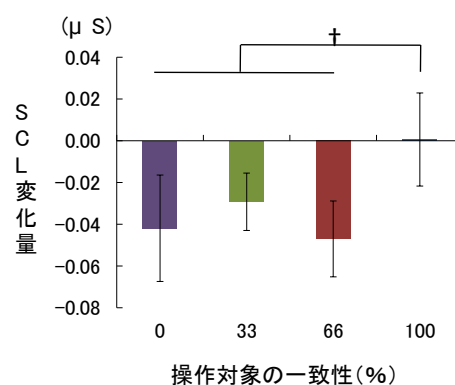


図 8. 条件ごとの SCL の得点

嫌悪刺激呈示前から呈示後にかけて、操作対象の一致性 0%, 33%, 66%では SCL の下降がみられたが、一致性 100%では変化はみられなかった。直行比較の結果、一致性 100%とそれ以外の 3 条件との間で有意傾向が認められた ($p < .10$)。

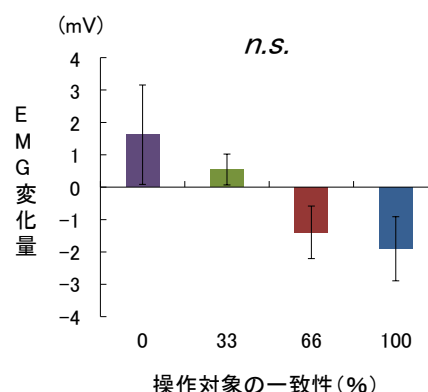


図 9. 条件ごとの EMG の得点

EMG は、嫌悪刺激呈示前から呈示後にかけて、各条件による変化の差異はみられなかった ($F(3, 81) = 1.77, n.s.$)。

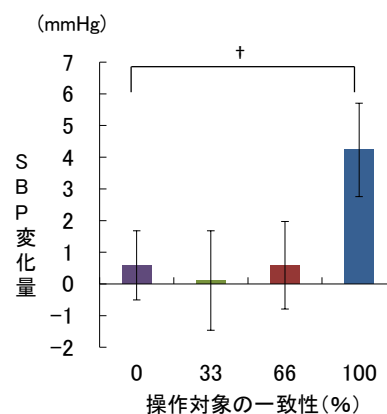


図 10. 条件ごとの SBP の得点

操作対象の一致性 0%, 33%, 66%では, 嫌悪刺激呈示前から呈示後にかけて, 特に変化はみられなかったが, 一致性 100%では, SBP の上昇が認められた ($F(3, 81) = 2.77, p < .05$).

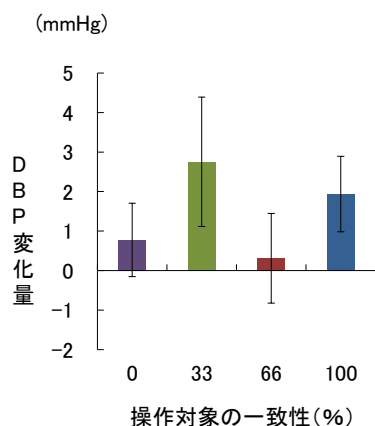


図 11. 条件ごとの DBP の得点

DBP では, 嫌悪刺激呈示前から呈示後にかけて, 各条件による変化の差異はみられなかった ($F(3, 81) = 0.81, n.s.$).

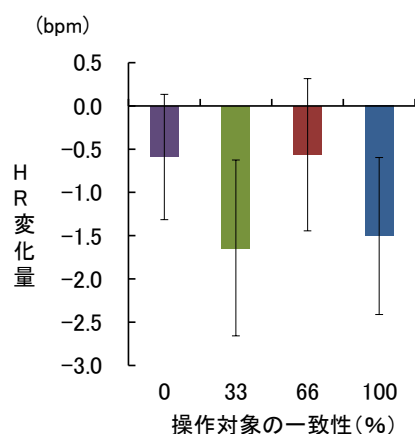


図 12. 条件ごとの HR の得点

嫌悪刺激呈示前から呈示後にかけて, いずれの条件においても HR の下降が見られたが, 各条件による変化の差異はみられなかった ($F(3, 81) = 0.50, n.s.$).

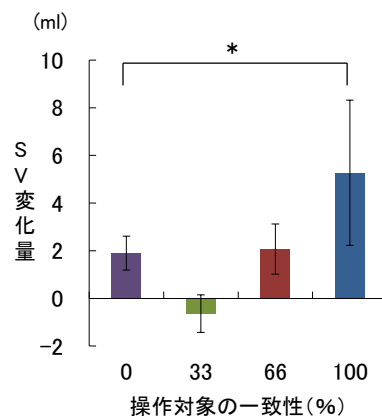


図 13. 条件ごとの SV の得点

操作対象の一致性 0%, 33%, 66%では, 嫌悪刺激呈示前から呈示後にかけて, 特に変化はみられなかったが, 一致性 100%では, SV の上昇が認められた ($F(3, 81) = 2.72, p < .05$).

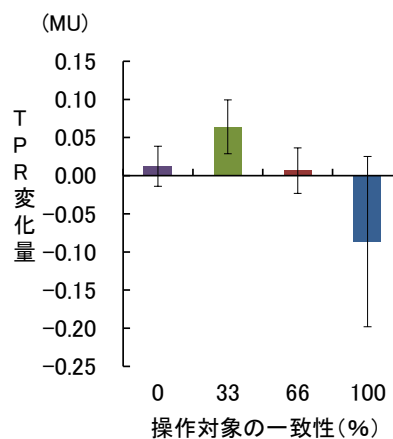


図 14. 条件ごとの TPR の得点

TPR は, 嫌悪刺激呈示前から呈示後にかけて, 各条件による変化の差異はみられなかった ($F(3, 81) = 0.95, n.s.$).

4. 考察

本研究では, 1) CG モデルへ反映される運動の一致性が異なることで, 獲得される運動主体感が異なるかどうか, 2) 先行して参加者の運動主体感を誘発することによっても, それに伴って対象への身体所有感が誘発されるか, を検討することを目的とした。

運動主体感

操作対象への運動主体感に関する質問項目の得点は, 操作対象の行動の一致性の上昇に伴い, 線形に高くなった。つまり, CG モデルに対する運動主体感は, 操作対象に実際の運動との一致性が高いほど強まることが示された。操作対

象の運動の一致性の高さは身体所有感を誘発するという本研究の結果は、行動結果の予測と実際の結果のフィードバックの一致が運動主体感の誘発に重要であるという先行研究の結果を支持するものであった。さらに、一致性 100%では、主観的な勝率が、実験操作により一定としていた勝率を有意に上回り、操作対象に対する身体所有感だけでなく、主観的な勝率をも変化させる可能性が示唆された。

身体所有感

心理指標では、運動主体感の項目と同様に、一致性の上昇に伴って身体所有感の得点も線形に高くなった。一方、生理反応では、一致性の上昇にあわせて操作対象の CG モデルに対する身体所有感は線形には上昇せず、一致性 100%で急激に高まるシグモイド曲線的なパターンを示した。具体的には SBP, SV という、ともに交感神経系支配で心臓機能を表す指標の反応量が増大した。つまり、一致性が低い条件における身体所有感は、心理指標と生理指標で異なる反応を示した。本研究において、嫌悪刺激呈示のタイミングは、じゃんけん課題を 100 回行った直後であり、直前の参加者の運動の要素が、後続の生理反応測定期間に尾を引く可能性も考えられたが、条件の施行順序のカウンターバランスをとったにも関わらず、一致性 100%にのみ顕著な心臓機能の賦活が認められた。一致性 100%では、運動主体感・身体所有感に関する得点の双方が高かったことから、先行して参加者の運動主体感を誘発することによっても、それに伴って対象への身体所有感も遊かつされるが、対象との運動の一致性が高い時のみ、生理反応を伴った反応がみられると考えられた。

本研究の結果から、CG モデルに対する運動主体感は操作対象に実際の運動が高いほど強まるが、そのモデルに対する身体所有感、かなり高い運動主体感をもたなければ獲得されないことが明らかとなった。今後は、複数の生理指標を組み合わせて測定するというに加えて、心理・生理反応の双方から測定し、これらすべての値を変数とした機械学習を行い、どの変数をもっとも、操作対象への身体所有感を説明するかということを解明する必要がある。

参考文献

- 1) Gallup, G. G. (1970) Chimpanzees: Selfrecognition, *Science*, 167, 86-87.
- 2) Gallagher, S. (2000) Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, 4, 14-21.
- 3) Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003) Projecting sensations to external objects: Evidence from skin conductance response. *Proceedings of Royal Society of London B*, 270, 1499-1506.
- 4) Hagni, K., Eng, K., Hepp-Reymond, M. C., Holper, L., Keisker, B., Siekierka, E., Kiper, D. C. (2008) "Observing Virtual Arms that You Imagine Are Yours Increases the Galvanic Skin Response to an Unexpected Threat", *PLoS ONE*, Vol. 3, No. 8.
- 5) Kaneko, T. and Tomonaga, M. (2011) The perception of self-agency

in chimpanzees(Pan troglodytes). *Proceedings of the Royal Society*, 278, 3694-3702.

- 6) Iriki, A., Tanaka, M., Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurons; *Neuroreport*, Vol. 7, 2325-2330