

# 姿勢動揺と認知的負荷の関連<sup>1</sup>

高瀬 弘樹（信州大学人文学部）

## Relation of postural sway and cognitive load

Hiroki TAKASE (Faculty of Arts, Shinshu University)

This paper reports the study on postural sway during a cognitive task. In the experiment, 14 participants performed a short memory task in standing on a compliant surface. The short memory task contained four levels of cognitive loads which were determined by length of digit string. The results showed that the fluctuation of center of pressure (COP) decreased when cognitive load increased, and COP fluctuation was highest during no-cognitive load. From these results, it might be thought that cognitive load raised postural control. Moreover, the results were discussed from the viewpoint of participants' attention and the tension of body.

**Key words:** posture, cognitive load, memory task.

### 問 題

姿勢は、主に視覚、体性感覚、前庭器官の情報によって制御されている。したがって、姿勢研究に関しては、これまでこれらの情報を操作したときの姿勢の動きについての研究が盛んに行われてきたが、近年、姿勢動揺と認知活動の関連性を示した知見が報告されるようになった（Balasubramaniam & Wing, 2002）。

伝統的に、姿勢やバランスは脊髄または小脳など皮質下において処理され、また、認知活動は皮質において処理されると考えられているため、姿勢の動揺と認知活動の関連については注目されてこなかった。一方で、小脳は感覚処理や認知活動に関係し（Schmahmann, 2000）、姿勢反射に皮質が関わっているという知見（Johansson, Lemon, & Westling, 1994）もあり、姿勢動揺と認知活動の関連を説明する機序は明らかではない。

これまでの姿勢動揺と認知活動の関連についての研究において、姿勢の動揺の程度（変動性など）と課題の難易度（認知的負荷量）との関係については、一貫した知見は得られていない。その原因として、実験で用いられている課題の相違が考えられる。これまでの研究では、反応時間課題（e.g., Vuillerme, Nougier, & Teasdale, 2000）、数字分類課題（e.g., Pellecchia, 2003）、計算課題（e.g., Hunter & Hoffman, 2001）、視覚的探索課題（e.g., Mitra,

<sup>1</sup> 本研究の一部は、日本心理学会第70回大会（2006）において発表された。また、本研究は、東京電機大学21世紀 COE プログラムの助成を受けた。

2003) など様々な課題が用いられているが、これらの中には認知活動以外の要因で姿勢動揺に影響を及ぼすことが予想される要因を含む課題もあり、純粋に姿勢動揺と認知活動の関連を検討していない研究もあると考えられる。例えば、課題遂行中に課題の結果（計算結果等）を口頭で伝えるといった発声を伴う課題や、提示される実験刺激に対してボタン押しで反応するといった肢体の運動を伴う課題は、発声や運動自身が姿勢動揺に影響を及ぼす可能性が高い。また、提示される視覚刺激が移動したり、複数の視覚刺激が提示されたりする課題も（Mitra, 2003）、視覚刺激自体が実験参加者の視線方向を変化させることで姿勢動揺が変化する可能性が高く、これらの課題は、姿勢動揺と認知活動の関連を検討する研究に用いる課題としては適切ではない。

本研究では、姿勢動揺に影響を及ぼすと考えられる発声や肢体運動を必要としない課題として、数字列（例えば、3745261）の記憶課題を用い、認知的負荷の程度と姿勢動揺の関連を検討することを目的とした。認知的負荷度は記憶する数字の桁数を操作し、4つのレベルを設定した（認知的負荷が高い順に、難課題、中課題、易課題と、記憶課題を行わない無課題）。また、課題遂行時の視覚情報の変化による姿勢動揺を避けるために、実験参加者は課題遂行中（記憶保持中）閉眼するように指示された。

## 方 法

**実験参加者** 男性大学生14名（平均22.5歳）。自己報告から、実験参加者は全て裸眼もしくは矯正して正常な視力を持ち、また、身長は1.60-1.85 m（平均1.70 m）、体重は48-85 kg（平均63.8 kg）であった。

**装置 & 材料** 実験の設定は Figure 1 のとおりであった。実験参加者が行う記憶課題は、17インチの液晶ディスプレイ（RDT178S、三菱電機）によって提示された。姿勢動揺を示す指標として、圧力中心点（Center of Pressure : COP）の動揺を計測した。COP は、フォースプレート9281C（Kistler 社）によって計測され、データはチャージアンプ9865E（Kistler

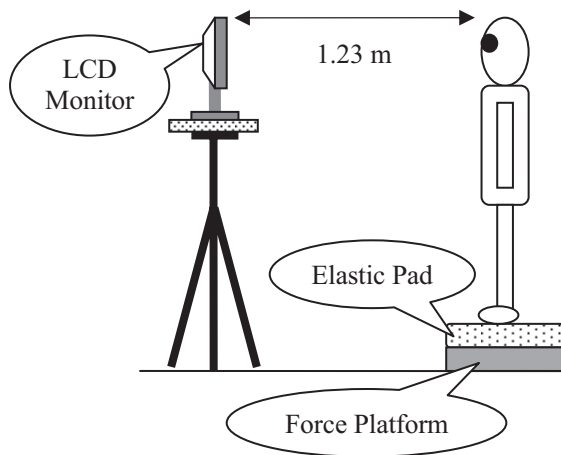


Figure 1. Experimental setup used in the present experiment.

社)で増幅された。計測された COP データは、LabVIEW 言語 (National Instruments 社) によって自作したデータ収録プログラムを用いて、A/D 変換ボード (PCI-6052E, National Instruments 社) によって検出レート 600 Hz で A/D 変換し、PC (Dell Precision 470) に取り込まれた。

**実験刺激** 実験参加者が記憶するように求められる数字列は、提示の順番や時間のスケジュール制御に LabVIEW 言語 (National Instruments 社) によって自作した刺激提示プログラムを用い、文字サイズが 72 ポイント、フォントが Times New Roman で液晶ディスプレイに提示された。各実験参加者は以下の手続きで「数字記憶テスト」(Turner & Ridsdale, 2004) を行い、その結果によって各実験参加者が記憶する数字の桁数を決定した。まず、実験参加者が正確に想起できる最大数字桁数を調べ、それを難課題で提示する桁数とした。次に、最大数字桁数の半分の桁数を易課題で提示する桁数、難課題と易課題で提示する桁数の中間の桁数を中課題で提示する桁数とした。最大数字桁数が奇数の場合は、易課題と中課題で提示する数字の桁数は小数点以下第一位を切り捨てた数とした。数字列の作成には、Excel (Microsoft 社) のランダムな数値を生成する関数を用いた。

**手続き** 実験参加者に実験の概略について説明し、実験参加の承諾を得た。各実験参加者が記憶する数字の桁数を決定するため、上記の方法で「数字記憶テスト」(Turner & Ridsdale, 2004) を行った。正確に再生できた数字の最大桁数の平均は 7.71 であった。実験参加者は裸足で両足の爪先と踵を接触するようにしてフォースプレート上に設置されたマットの上に立位するように教示された。姿勢の動揺は微細であるため、その検出は容易ではない。このマットは、姿勢の微細な動揺に物理的に反応しやすい支持面を作ることで、直立姿勢を不安定化させると同時に微細な姿勢動揺を増幅し抽出しやすくするために設置された。易・中・難課題では、実験参加者は目の高さに配置された液晶ディスプレイに 10 秒間提示される数字列を記憶することが求められ、液晶ディスプレイが青色画面に切り替わったら閉眼し数字列の記憶を保持するように教示された。データ収録は、実験参加者が閉眼した直後に開始され、30 秒間続けられた。30 秒経過後に実験者の合図により実験参加者は開眼し、記憶した数字列を口頭で実験者に伝えるように求められた。無課題では、数字列が無い画面が 10 秒間提示された後、液晶ディスプレイが青色画面に切り替わったら閉眼し、30 秒間リラックスして立位するように教示された。4 種類の課題を 5 試行ずつ行い、全試行数は 20 試行であった。

**データ解析** まず、COP データを 600 Hz から 100 Hz にダウンサンプリングし、低域通過 FIR (Finite Impulse Response) フィルタを用いて低周波成分 (0.5 Hz 以下) を除去した。このデータから、実験参加者の前後方向 (anterior-posterior : AP) および左右方向 (medio-lateral : ML) の COP の時系列データを計算し (Figure 2, 3), AP 成分と ML 成分のそれぞれについて、姿勢動揺の変動性の指標として一試行全体 (30 秒間) の標準偏差  $SD_{AP}$ ,  $SD_{ML}$  をそれぞれ算出した。また、COP データのドリフト成分の影響を取り除いた局所的な標準偏差 ( $SD_L$ ) を姿勢動揺の変動性のもう一つの指標として以下の方法で算出した。まず 30 秒間の時系列データを 30 セットの 1 秒間データに分割し、各 1 秒間データの標準偏差を求めた。次に、それら 30 セットの標準偏差の平均値を算出し、 $SD_L$  とした (AP 成分は  $SD_{L-AP}$ , ML 成分は  $SD_{L-ML}$ )。

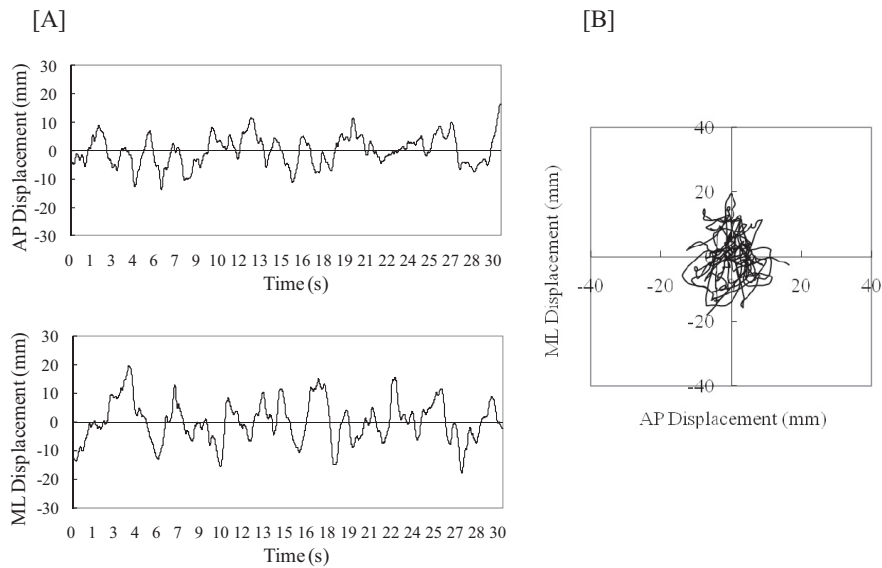


Figure 2.

[A] An example of time series of  $COP_{AP}$  (upper panel) and  $COP_{ML}$  (under panel) during Difficult trial.  
 [B] An example of COP data in AP-ML coordinates during Difficult trial.

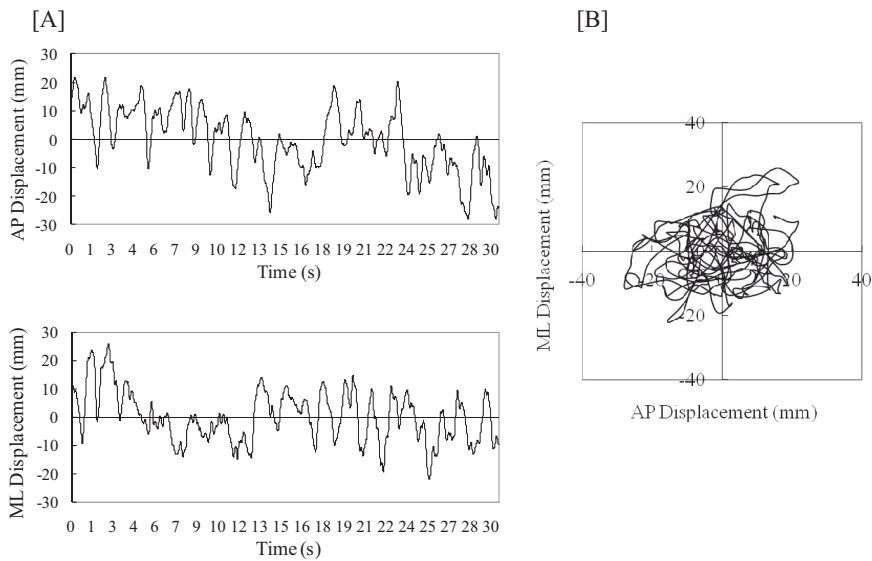


Figure 3.

[A] An example of time series of  $COP_{AP}$  (upper panel) and  $COP_{ML}$  (under panel) during Easy trial.  
 [B] An example of COP data (mm) in AP-ML coordinates during Easy trial.

## 結 果

記憶した数字列の再生において、全ての試行で誤答は認められなかった。

姿勢動揺の指標である  $SD_{AP}$ ,  $SD_{ML}$ ,  $SD_{L-AP}$ ,  $SD_{L-ML}$  のそれぞれについて、認知的負荷（無, 易, 中, 難）を要因とする一要因分散分析を行った結果,  $SD_{AP}$  ( $F(3,39)=8.58, p<0.01$ ) と  $SD_{ML}$  ( $F(3,39)=6.81, p<0.01$ ),  $SD_{L-AP}$  ( $F(3,39)=4.38, p<0.05$ ) に有意差が認められた。下位検定の結果,  $SD_{AP}$  に関しては「無, 易, 中>難」「無>中」(Figure 4A),  $SD_{ML}$  に関しては「無, 易>難」「無>中」(Figure 4B),  $SD_{L-AP}$  に関しては「無, 易, 中>難」(Figure 5A) であることが示された。 $SD_{L-ML}$  に関しては認知的負荷の違いによる有意な差は認められなかった (Figure 5B)。

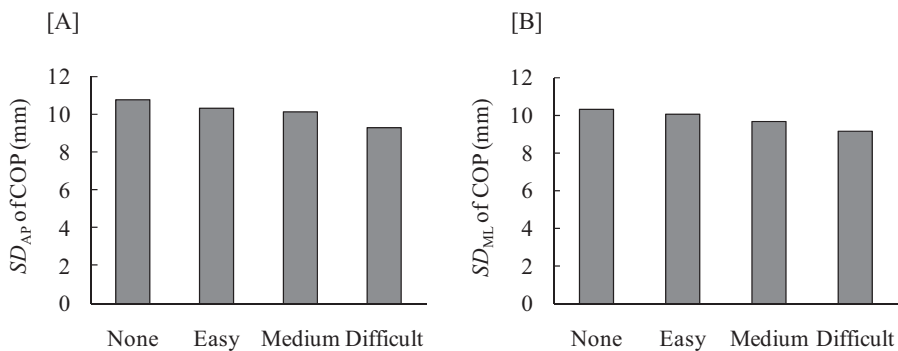


Figure 4. Standard deviation of AP [A] and ML COP data [B] under None, Easy, Medium and Difficult conditions.

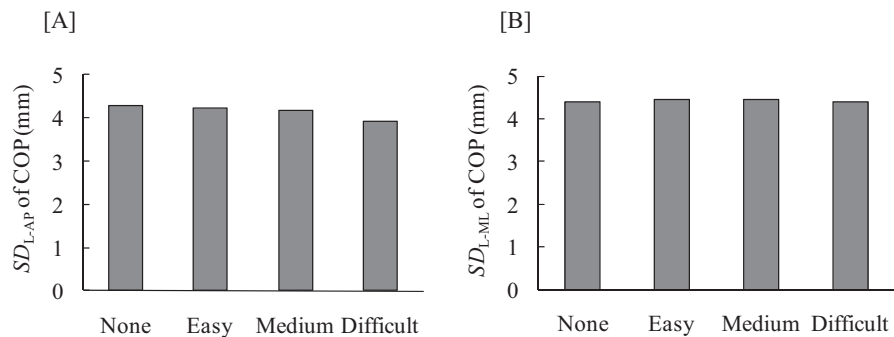


Figure 5. Local standard deviation of AP [A] and ML COP data [B] under None, Easy, Medium and Difficult conditions.

## 考 察

実験の結果から、認知的負荷が高いほど COP の変動性（姿勢の動揺）が減少することが示され、認知的負荷が姿勢制御を高めることが示唆された。また、認知的負荷が無いときに COP の変動性は最も高かった。この結果は、一試行全体（30秒間）の COP の変動性を示す  $SD_{AP}$  と  $SD_{ML}$  だけでなく、COP の局所的な変動性を示す  $SD_{L-AP}$  でも、部分的に同様の傾向が認められた。

この実験結果の説明の一つとして、注意の焦点と筋緊張という要因が考えられる。認知的負荷が低い易課題のとき、実験参加者は課題達成にそれほど多くの努力を要しないため、実験参加者の注意は分散し身体の緊張度も低く姿勢の動揺は大きい。一方、認知的負荷が高い難課題のとき、実験参加者の注意は記憶課題に集中し身体の筋緊張も高まることで姿勢の動揺が減少したと推測される。この説明は、実験参加者の「難課題遂行時には全身の筋肉が緊張した」「難課題遂行時には課題に集中して身体が硬くなった」といった内省報告とも一致するものであった。

また、本実験の結果について脳生理学の観点から説明を試みると、記憶などの認知活動を司る前頭前野（特に、ワーキングメモリの関連領域とされる背外側領域）と姿勢制御を司る小脳などの皮質下の脳活動との関連が示唆されたと言える。記憶課題の遂行にはワーキングメモリの関連領域の活性化が必要であり、その活性度は記憶課題の難度（認知的負荷）の上昇に伴い増大すると考えられる。本実験で、記憶課題の難度が増し認知的負荷が大きくなるほど姿勢の動揺は減少したことから、ワーキングメモリ領域の活性化が小脳に影響を及ぼし、その結果、姿勢動揺が変化したと推測される。本実験では、認知的負荷の増大により姿勢の動揺が減少（姿勢が安定）したことから、認知的負荷は姿勢の制御機能を向上させる効果があると考えられる。

上記の推測的な説明について検討するため、今後、記憶課題遂行中の身体の筋緊張度や脳活動を同時計測し、COP データとの関連を検証することが望まれる。

## 引用文献

- Balasubramaniam, R., & Wing, A. M. (2002). The dynamics of standing balance. *Trends in Cognitive Sciences*, **5**, 531–536.
- Hunter, M. C., & Hoffman, M. A. (2001). Postural control: visual and cognitive manipulation. *Gait and Posture*, **13**, 41–48.
- Johansson, R. L., Lemon, R. N., & Westling, G. (1994). Time-varying enhancement of human cortical excitability mediated by cutaneous input during precision grip. *Journal of Physiology*, **481**, 761–765.
- Mitra, S. (2003). Postural costs of suprapostural task load. *Human Movement Science*, **22**, 253–270.
- Pellecchia, G. L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait and Posture*, **18**, 29–34.
- Schmahmann, J. D. (2000). Cerebellum and brainstem. In A. W. Toga & J. C. Mazziotta (Eds.), *Brain*

- Mapping: The Systems*, San Diego, CA: Academic Press. pp. 207-259.
- Turner, M., & Ridsdale, J. (2004). The digit memory test. <<http://www.dyslexia-inst.org.uk/pdffiles/Digit.pdf>> (October 6, 2004)
- Vuillerme, N., Nougier, V., & Teasdale, N. (2000). Effects of a reaction time task on postural control in humans. *Neuroscience Letters*, **291**, 77-80.

(2009年11月10日受理, 11月24日掲載承認)