

# 日内変動における自己選択速度と 脳波及び気分の関連性

成 瀬 九 美

## Diurnal variation in the self-selected pace on forearm rotational task, EEG activity and mood states

*Kumi Naruse*

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate the factor, which influence the selection of internal pace on continuous forearm rotational task. Self-selected pace (Preferred pace, Slow pace, and Fast pace), resting EEG activity (first peak and frontal asymmetry), and mood states (liveliness, well-being, concentration, and sleepiness) were measured every 30 minutes from 9.30 am to 5 pm for 5 female subjects. Multiple regression analysis indicated that each pace has significant correlation to frontal EEG asymmetry of alpha-1 band (8-10Hz) and subjective well-being. Factor analysis indicated that three common temporal fluctuations were present, (1) first peak in alpha-band (8-13Hz), (2) subjective sleepiness and liveliness, (3) frontal EEG asymmetry, subjective well-being and concentration. Preferred Pace and Fast Pace were contained in the third component, and Slow Pace contained in the first and third component. These results suggest that left frontal activation and positive feeling may have an influence on the selection of internal pace.

**Key words:** self-selected pace, EEG activity, mood states, diurnal variation

索引語：自己選択速度，脳波，気分，日内変動

### 1. 研究目的

日常の場で他者と動作や行動を共にするとき、我々は自分が他者と異なる速度で動いていることに気づくことがある。日常的な動作に見られる自然で快適な動作速度に関する研究の経緯は比較的古く1930年代の欧米に始まる。動作速度は、「most natural, congenial」「most comfortable」「most convenient and natural」などの教示を用いて測定され、その名称は研究者によって、Preferred Tempo, Personal Tempo, 精神テンポ、と異なるが、本研究では“pace”が“tempo”と同様に事象の速さ(speed)を表す

語であり、歩行など身体活動に関わる用法が多く見られることから、「Preferred Pace」を用いる。

Preferred Pace はこれまでに、課題間の一貫性が高いこと (Rimoldi, 1951)、個人差は大きい個人内の時間的一貫性が高いこと (Smoll, 1975a; Smoll, 1975b; 成瀬, 2001a) や、単位時間当たりのエネルギー消費が最小になり身体効率が良いこと (Salvendy & Pilitsis, 1971; Taguchi, Gilner, Horvath, & Nakamura, 1981; 平, 今若, 杉之原, 1993) 等の特性が報告されている。また、スポーツを始めとする様々な身体活動の場面で自発的に動作速度をコントロールする場合に、個人内に固有の Preferred Pace が心理的基準 (psychological criterion) として速度決定に関与する可能性が指摘されている。Tajima and Choshi (1999) は、右手で 3 拍子、左手で 2 拍子のタッピング動作を同時に行う実験を行い、片手 (利き手) で行った場合の Preferred Pace が 3 拍子の速度と高い相関を持つことを報告した。また筆者らは、タッピングや腕振り動作などの分離的課題 (discrete task) や連続課題 (continuous task) を用いて、Preferred Pace に対する遅い速度 (Slow Pace) や速い速度 (Fast Pace) の比率が課題特性に関わらず近似することや、Preferred Pace と各速度間に高い相関が認められることを報告した (Naruse & Hirai, 2000; Naruse, Sakuma, & Hirai, 2001)。一方、山西と坂手 (1999) がレーン上のスライダーを片手で前後に動かす課題を用いて、Maximum Pace との関係調べた実験では有意な相関は認められず、Preferred Pace は体力レベルと独立したペースであると考えられる。また橋本 (1995) は Preferred Pace 下の運動の心理的効果について、自己選択速度でのランニング (快適自己ペース走, comfortable self-paced running) を用いた実験を行い、ランニング速度は個人差が大きい再現性が高く、運動強度と関係なく一貫して快感情が得られることを報告している。

近年、ポジトロン断層法 (positron emission tomography; PET) や機能的核磁気共鳴画像 (functional magnetic imaging; fMRI) による高次の神経活動に関する研究が進み、自発的な運動開始を促す過程に補足運動野 (supplementary motor area; SMA) が関与することが明らかにされている (Papa, Artieda, & Obeso, 1991; Jahanshahi, Jenkins, Brown, Marsden, Passingham, & Brooks, 1995; Wessel, Zeffiro, Toro, & Hallett, 1997; Deiber, Honda, Ibañez, Sadato, & Hallett, 1999)。Blinkenberg, Bonde, Holm, Svarer, Andersen, Paulson, and Law (1996) は PET を用いて、0.5Hz から 4Hz までの 8 段階の呈示間隔に対して第 2 指によるキー押し課題を行い、中間の周波数の 2Hz と 2.5Hz は低い周波数や高い周波数と比べてタッピングの同期誤差が小さく、補足運動野や一次運動野における血流量が減少することを報告している。同期誤差の少ない中間の周波数は Preferred Pace と考えられるが、この結果は Preferred Pace 下の遂行が他の速度と異なる脳内メカニズムのもとに行われていることを神経生理学的に示している。

Preferred Pace を規定する要因は、これまでのところ明らかではない。川岸と平井

(1980)は安静時心拍数との関係を調べるために心拍数の高低による群分けを行い、その場足踏みやタッピングなどの繰り返し動作を課題として Preferred Pace を比較したが、遂行速度に群間の差は認められず関与を否定している。Hall, Ekkekakis, Van Landuyt, and Petruzzello (2000)は運動実施前の前頭部における $\alpha$ 波(8-13Hz)の左右差と歩行速度との関係を調べ、遂行前の左半球の覚醒が速いスピードの選択や高い主観的運動強度(RPE)の評価と有意な関連性を持つことを報告した。また同様に、成瀬(2001b)は遂行前の前頭部における $\alpha 1$ (8-10Hz)含有率の左右差と前腕回転課題(forearm rotational task)における Preferred Pace との有意な相関を認めた。前頭部における脳の覚醒の左右差については、フィルム呈示実験(Davidson, Ekman, Saron, Senulis, & Friesen, 1990)や、トレッドミル走行実験(Petruzzello & Landers, 1994; Petruzzello & Tate, 1997)から、左半球の覚醒が肯定的な感情と関連することが報告されており、Preferred Pace に遂行前の前頭部における中枢神経系活動や主観的感情が関与することが示唆される。

我々の身体には様々な生物リズムが備わるが、脳波(Okawa, Matousek, & Peterén, 1984; Manseau & Broughton, 1984; 林, 堀, 杉本, 1987; Tsuji & Kobayashi, 1988; Ortega & Cabrera, 1990; Cacot, Tesolin, & Sebban, 1995; Cummings, Dane, Rhodes, & Hughes, 2000)や、主観的感情(Clark, Watson, & Leeka, 1989)に周期性のある変動が存在することが報告されている。そこで本研究は、前腕回転課題を用いて日中9時間にわたって30分毎に Preferred Pace 並びに Non Preferred Pace として Slow Pace と Fast Pace を測定し、脳波及び気分評価の変動との関連性から、運動遂行時の自己選択速度に影響する要因を検討した。

## 2. 実験方法

### (1) 被験者

21歳から30歳までの女子大学生及び大学院生5名。被験者に前日までに実験内容を説明し、参加の同意を得た後、課題動作の練習を行った。前日は12時までに就寝し、7時に起床、8時までに朝食を摂取した。アルコール及びカフェイン類の摂取を禁止した。

### (2) 測定項目

動作速度、脳波、気分評価であった。

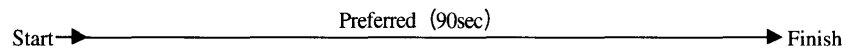
動作速度は前腕回転課題を用いて測定した。被験者は机の上に置かれた直径40cmの回転盤(アルミニウム製)の端に利き手の指先を置き、時計周りに回転させた。測定条件は Preferred 条件, Slow 条件, Fast 条件の3種類であった。Preferred 条件は被験者にとって「ちょうど良い速さ」(Preferred Pace)で行う。Slow 条件と Fast 条件は Preferred Pace で課題を開始し、実験者が与える合図に応じて速度を変える。Slow 条件の場合は1回目の合図(開始30秒後)で「遅い速さ」(Slow Pace)に、2回目の合図(開始60秒後)に「さらに遅い速さ」(Very-slow)に減速する。Fast 条件の場合は1回目の合図(開始30

秒後)で「速い速さ」(Fast Pace)に、2回目の合図(開始40秒後)に「さらに速い速さ」(Very-fast)に加速する。遂行の開始と終了は実験者が口頭で合図した。各条件の遂行時間は Preferred 条件と Slow 条件は90秒間、Fast 条件は50秒間で、閉眼で1試行ずつ実施した。Fig.1 に測定条件を示した。

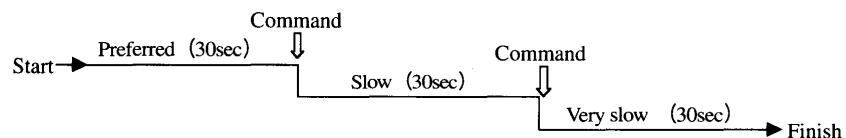
脳波は開眼・閉眼で2分間ずつ計4分間測定した。銀・塩化銀皿電極を用い、国際基準10-20法に基づいた頭皮上の11部位(Fz・F<sub>3</sub>・F<sub>4</sub>・Cz・C<sub>3</sub>・C<sub>4</sub>・Pz・P<sub>3</sub>・P<sub>4</sub>・T<sub>3</sub>・T<sub>4</sub>)から導出し、時定数0.3secで脳波計(日本光電 Neurofax 4514)に記録した。基準電極は両耳朶を連結し、単極誘導した。

気分評価は8尺度から構成される多面的感情状態尺度(Multiple Mood Scale; MMS)(寺崎, 岸本, 古賀, 1992)のうち、肯定的感情を測定する活動快(liveliness), 非活動快(well-being), 集中(concentration)の3尺度と眠気(sleepiness)について、100mmのアナログスケールを用いて実施した。被験者はA4サイズ用紙(縦)上の、両端に対形容詞句(活気のある—疲れた, リラックスした—緊張した, 集中した—気の散った, 眠い—冴え

#### Preferred Condition (90sec.)



#### Slow Condition (90sec.)



#### Fast Condition (50sec.)

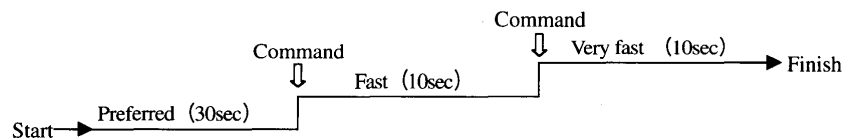


Fig. 1 Experimental Conditions

た,)の書かれたスケールに鉛筆でマークを付けた。

#### 3) 手順

被験者は9時に実験室に入り、電極を装着した。セッションは1回約15分間で、脳波、気分評価、動作速度の順に測定し、9時半から17時の間に16回実施した。セッション終了後、被験者は室内で自由に行動できたが、激しい運動やカフェイン類の摂取を避けた。昼食は12時のセッション終了後に摂取した。

#### 4) 分析方法

動作速度はタコジェネレーターによる電圧出力から角速度を検出し、アンプ(竹井機器工業)を通して、サンプリングタイム10msecでA/D変換の後、パーソナルコンピュー

タ (Toshiba) に記録した。Preferred 条件は試行開始から30秒以降の60秒間の平均値を求めた。Slow 条件の場合、Preferred Pace は開始20秒以降、Slow Pace は開始50秒以降、Very-slow Pace は開始80秒以降のそれぞれ10秒間を分析対象として段階毎に平均値を算出し、Preferred Pace に対する Slow Pace 及び Very-slow Pace の比率をそれぞれ求めた。Fast 条件の場合、Preferred Pace は開始20秒以降の10秒間、Fast Pace は開始35秒以降、Very-slow 条件は開始45秒以降のそれぞれ5秒間として段階毎に平均値を算出し、Preferred Pace に対する Fast Pace 及び Very-fast Pace の比率をそれぞれ求めた。

脳波は1024ポイントをサンプリングタイムとしてA/D変換後、FFTによる周波数分析を行った。分析対象は閉眼測定1分目以降のアーティファクトの混入していない2秒間を20区間選び、8~13Hzまでの $\alpha$ 帯域におけるFirst Peakと、 $\theta$ 波(4-8Hz)、 $\alpha$ 1波(8-10Hz)、 $\alpha$ 2波(10-13Hz)、 $\beta$ 波(13-30Hz)の4帯域についてそれらの含有率を求め、それらの平均値を代表値とした。左右差係数(Laterality coefficient; LC)は、前頭部の $\alpha$ 1と $\alpha$ 2について $(R-L)/(R+L) \times 100$ の式を用いて求めた。この係数の高い値は、左半球において $\alpha$ 波の活動が低い状態、つまり覚醒の状態を示す(Tomarken, Davidson, Wheeler, & Kinney, 1992)。

気分評価は各尺度に対してスケールの端からマークまでの距離を計測した。

#### (5) 統計処理

複数の変数の日内変動を測定した先行研究(Hayashi, Sato, & Hori, 1994; Monk, Buysse, Reynolds, Berga, Jarrett, Begley, & Kupfer, 1997)を参考に、因子分析、重回帰分析、Spearmanの順位相関を用いた。

### 3. 結果

#### (1) 各指標の日内変動

Fig2-1にPreferred Pace及びSlow条件とFast条件におけるPreferred Paceに対する各ペースの比率の変動を示した。以下、時間表記を1000(10時)のように示す。Preferred Paceのセッション内の平均値は29.2rpm(revolution per minute)で、1000から1030にかけて増加して1230までは速度を保ったが、1300に一旦減少し、1430以降に増加傾向を示した。

Preferred Paceに対するSlow及びVery-slow Paceの比率の平均値はそれぞれ0.68と0.49であった。Slow Paceは約2時間の周期で増減が繰り返されたのに対して、Very-slow Paceは1000以降に減少して1200に減少のピークを示し、その後緩やかに増加して1430に増加のピークを示した。両速度は1100から1130にかけてその差異が明確であったが、1430から1530にかけてVery-slow Paceの数値が高く、差異が少なくなった。

Preferred Paceに対するFast PaceとVery-fast Paceの比率の平均値はそれぞれ1.53と2.06であった。両速度は1~2時間の周期で増減を繰り返す類似の変動パターンを示した。また、Fast PaceのSDはVery-fast Paceよりも大きかった。

Fig2-2に脳波の測定値の平均値を示した。 $\alpha$ 帯域(8-13Hz)におけるFirst PeakはFzやCzよりもPzにおいて高い傾向を示した。1100にPzにおいて増加のピークが認められた。また3部位において、周波数は1400に増加し1430に減少した。

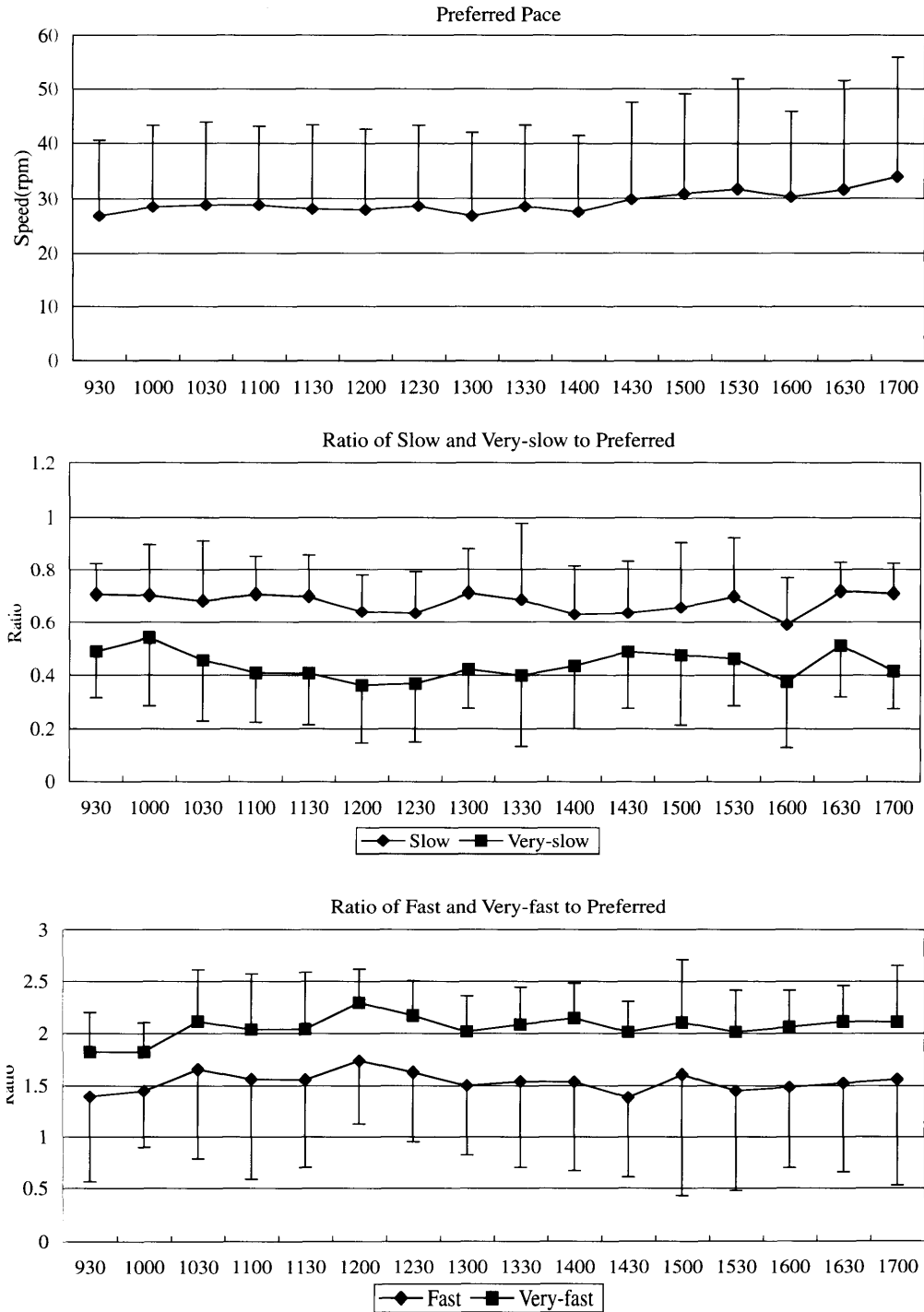


Fig.2-1 Diurnal speed variations of each pace

前頭部における $\alpha$ 帯域の左右差係数は午前において $\alpha 1$ ,  $\alpha 2$ ともに1100をピークとする増加が認められた。午後の変動パターンは帯域によって異なり, 1300と1530に $\alpha 1$ の場合は増加のピーク,  $\alpha 2$ の場合は減少のピークが認められた。

Fig.2-3 に気分評価の平均値を示した。「眠気」は午前到低く午後に高いの対して, 「集中」は逆の傾向を示した。また, 「活動快」と「眠気」とのSDは1200から1500にかけて小さかった。

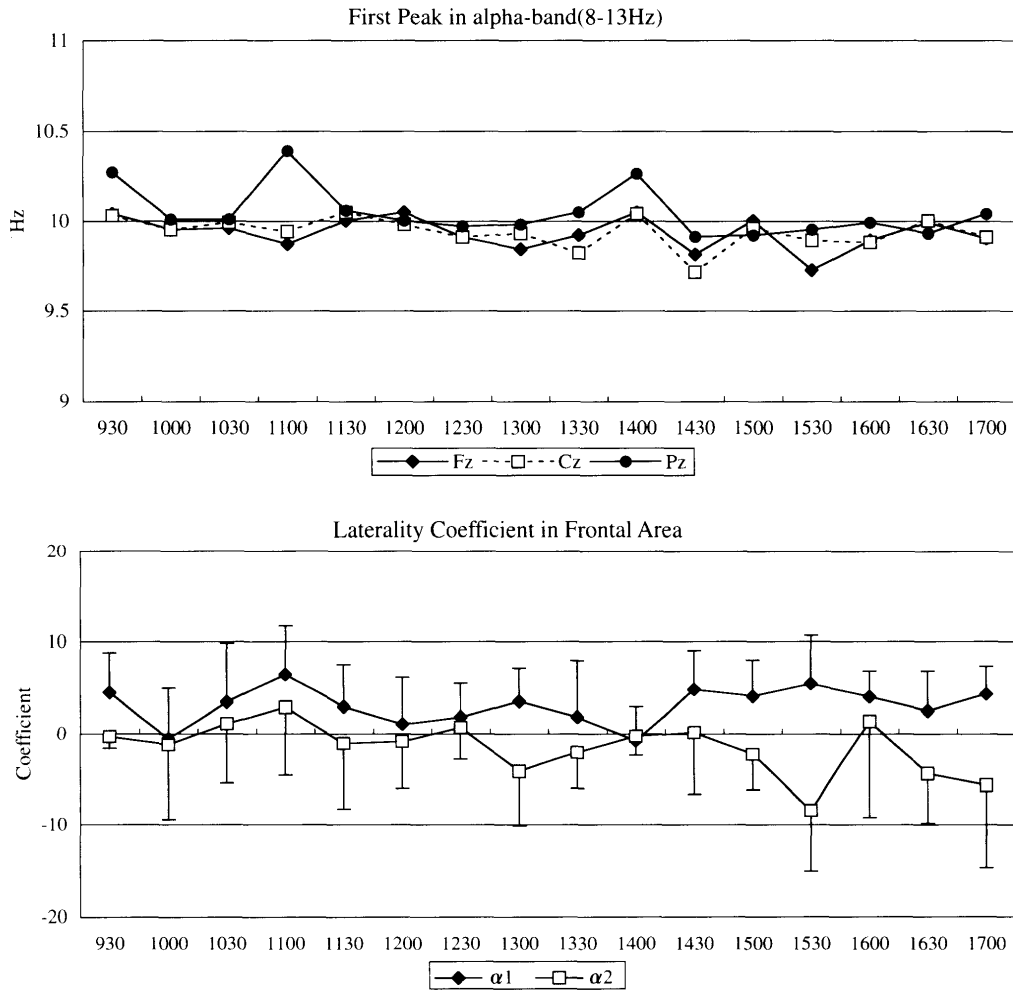


Fig.2-2 Diurnal EEG variations

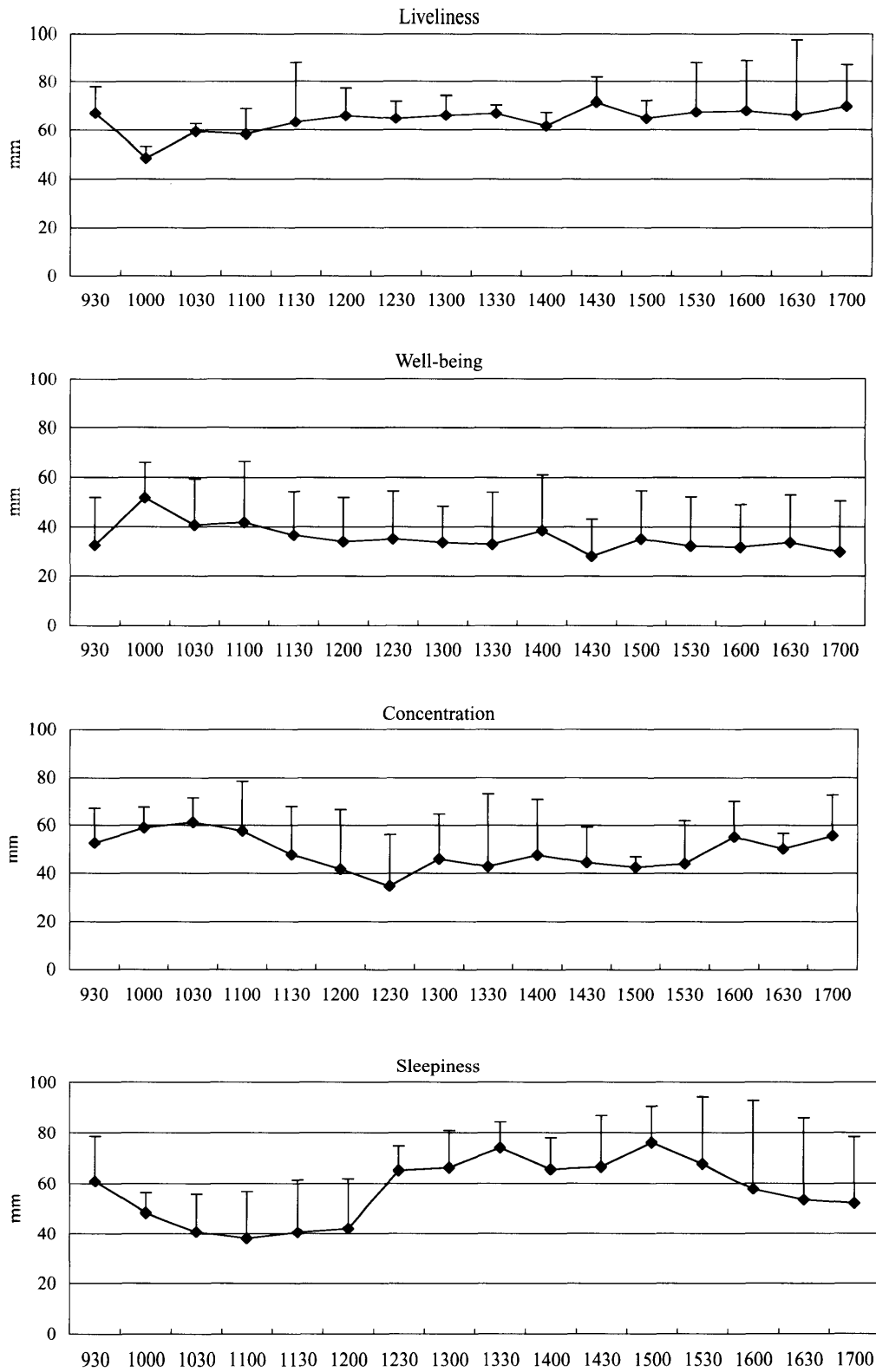


Fig.2-3 Diurnal subjective mood states variations



## (2) 重回帰分析, 因子分析, 順位相関

各動作速度を説明変数, 脳波及び気分評価の9つの変数を基準変数として重回帰分析を行った。Table1に標準偏回帰係数と重相関係数を示した。 $\alpha 1$ 左右差係数と「非活動快」は全ての速度間に有意な係数を示した。 $\alpha 1$ 左右差については, Preferred, Fast, Very-fastが正の係数であるのに対して, SlowとVery-slowは負の係数であった。FzのFirst PeakはFast及びVery-fast Paceと, PzのFirst PeakはSlow及びVery-slow Paceと有意な正の相関を示した。さらに「集中」はSlow Paceと有意な正の係数を示した。

次に, 動作速度, First Peak, 前頭部左右差係数, 気分評価の計10個の変数に対して, 速度毎に主因子法による因子分析を行った( $n=80$ )。固有値1.0以上を因子抽出基準として, 因子構造の単純化のためバリマックス回転を加えた結果, それぞれ3因子が抽出された(Table2)。第1因子は脳波First Peakに対して因子負荷量の高い因子であり, Slow PaceとVery-slow Paceが含まれた。第2因子は「眠気」や「活動快」の主観評価に対して因子負荷量の高い因子であった。第3因子は前頭部左右差係数や「集中」「非活動快」の主観評価に対して因子負荷量の高い因子であり, Preferred, Slow, Fast, Very-fast Paceが含まれた。

Paceと各指標間でSpearmanの順位相関を行い, 指数の平均値をFig.3に示した。有意な相関は認められなかったが, 0.2以上の指数に着目した場合, CzにおけるFirst PeakとFast Paceは正,  $\alpha 1$ 左右差係数とFast及びVery-fast Paceは負,  $\alpha 2$ 左右差係数とSlow Paceは正の関係を示した。主観評価は, 「非活動快」はPreferred Paceと負, 「集中」はSlow・Fast・Very-fast Paceと負, 「眠気」はSlow Paceと正の関係を示した。

Table 1 Results of Multiple Regression Analysis (Standard Partial regression Coefficient and Multiple Correlation Coefficient)

Indices	Pace				
	Preferred	Slow	Very-slow	Fast	Very-fast
Fz	0.425	-0.302	-0.137	0.764 *	0.714 *
Cz	-0.105	0.307	0.140	-0.420	-0.346
Pz	-0.195	0.436 **	0.547 **	0.133	0.140
LC( $\alpha 1$ )	0.233 *	-0.314 **	-0.286 **	0.236 *	0.238 *
LC( $\alpha 2$ )	-0.026	-0.057	-0.116	-0.108	-0.091
Liveliness	0.165	-0.081	-0.003	0.254	0.280
Well-being	0.644 **	0.233 **	0.232 **	0.409 **	0.516 **
Concentration	-0.025	0.289 **	0.118	-0.053	0.008
Sleepiness	0.074	-0.086	-0.101	0.070	0.105
Multiple Correlation Coefficient	0.698	0.793	0.768	0.675	0.747

\* &lt; .05

\*\* &lt; .01

Table 2 Results of Factor Analysis

Pace Factor	Preferred			Slow			Very-slow			Fast			Very-fast		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Pace	-0.009	-0.087	0.790	0.525	0.004	0.626	0.649	-0.076	0.458	0.398	-0.227	-0.515	0.350	-0.202	0.631
Fz	0.953	-0.139	0.053	0.970	-0.103	0.005	0.964	-0.100	-0.051	0.968	-0.091	-0.002	0.956	-0.133	0.080
Cz	0.955	-0.167	0.054	0.970	-0.124	0.050	0.966	-0.125	-0.013	0.966	-0.112	0.034	0.957	-0.159	0.063
Pz	0.869	-0.197	0.031	0.856	-0.132	0.235	0.872	-0.146	0.172	0.879	-0.138	0.106	0.875	-0.192	0.053
LC( $\alpha$ 1)	-0.378	-0.089	0.144	-0.307	-0.177	-0.480	-0.329	-0.130	-0.454	-0.312	-0.173	-0.435	-0.366	-0.104	0.286
LC( $\alpha$ 2)	0.040	-0.260	0.163	-0.047	-0.167	0.484	-0.030	-0.203	0.508	0.038	-0.197	0.262	0.042	-0.241	0.013
Liveliness	0.040	-0.887	0.006	0.112	-0.899	-0.071	0.106	-0.891	-0.120	0.108	-0.903	-0.056	0.047	-0.892	0.091
Well-being	-0.020	0.047	0.774	-0.037	0.148	0.222	-0.026	0.133	0.299	0.054	0.047	-0.329	-0.002	0.066	0.615
Concentration	0.233	-0.266	-0.241	0.165	-0.221	0.535	0.197	-0.254	0.383	0.190	-0.196	0.491	0.236	-0.263	-0.326
Sleepiness	-0.102	0.904	0.113	-0.117	0.881	-0.229	-0.130	0.897	-0.153	-0.134	0.874	-0.257	-0.110	0.902	0.131
Proportion(%)	27.855	18.462	13.487	30.394	17.589	13.074	32.198	17.917	9.808	29.694	17.806	9.538	29.231	18.738	10.036
Cumulative Proportion(%)			59.805			61.057			59.922			57.037			58.005

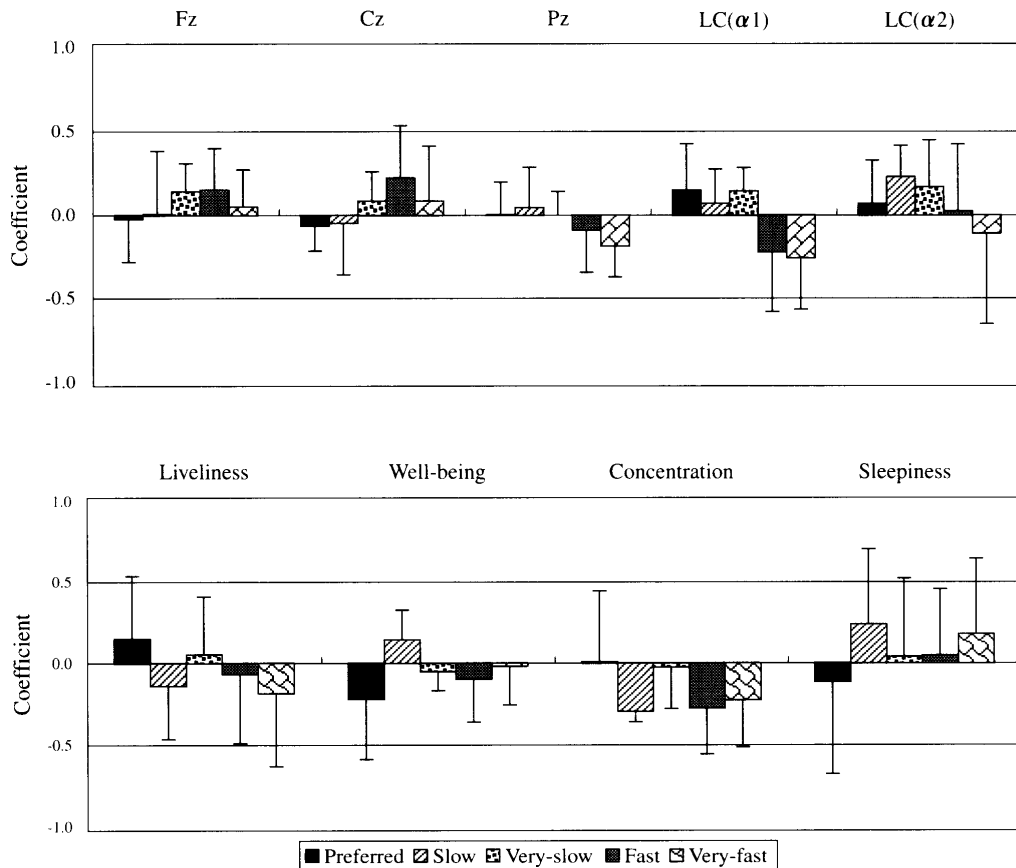


Fig.3 Means and SDs of Spearman's Rank Correlation Coefficient

#### 4. 考察

##### (1) 自己選択速度に影響する要因

本研究は、前腕回転課題を用いて日中9時間にわたって30分毎に Preferred Pace, Slow Pace, Fast Pace を測定し、脳波及び気分評価の変動との関連性を検討した。重回帰分析の結果、Preferred Pace と  $\alpha 1$  帯域左右差係数及び「非活動快」との間に有意な正の係数が得られた。前頭部  $\alpha 1$  (8-10Hz) 左右差の結果は本研究と同課題を用いた先行研究(成瀬, 2001b)と一致した。また因子分析の結果、脳波 First Peak に対応する生理的覚醒水準に関与する因子、「眠気」や「活動快」に対応する覚醒感や全身の活性レベルに関与する因子、「集中」「非活動快」に対応する精神活動レベルに関与する因子、が得られ、Preferred Pace は 3 番目の因子に含まれた。

スポーツパフォーマンスにおいて、遂行前 5～10秒の準備段階 (preparatory period) は遂行者が覚醒及び注意の状態を最終的に調整する重大な局面の一つである。パフォーマンスに及ぼす遂行前の脳の活動状態については、closed skill に分類される射撃やアーチェリーの運動種目を用いた研究から、遂行直前に左半球における  $\alpha$  波が増加すること、つまり右半球が覚醒した状態であることが報告されている (Hatfield, landers, & Ray,

1984; Salazar, Landers, Petruzzello, & Myungwoohan, 1990; Landers, Han, Salazar, Petruzzello, Kubiz, and Gannon, 1994)。本研究の結果では Preferred Pace 遂行に右半球における  $\alpha 1$  波含有率が影響した。 $\alpha$  波の周波数特性について, Gevins, Smith, McEvoy, and Yu (1999) は高い周波数の  $\alpha$  波の増減が課題の難易度や, 空間的課題か言語的課題かの課題特性と関係するのに対して, 低い周波数の  $\alpha$  波の場合は課題特性と独立することを指摘している。さらに, Smith, McEvoy, and Gevins (1998) は高い周波数の  $\alpha$  波が課題特性に応じた認知的ストラテジーや技能の獲得に関与するのに対して, 低い周波数の  $\alpha$  波は練習の繰り返しによる上達につれて課題特性と無関係に増加することを報告している。これらの結果から低い周波数の  $\alpha$  波は脳覚醒水準の低い状態に対応するといえる。つまり, Preferred Pace 下の動作遂行に右半球の高い覚醒水準は必要ではなく, 「非活動快」との有意な相関が示すように, 肯定的な感情やリラックスした状態を反映する低い水準の覚醒が関与すると考えられる。

Slow, Very-slow, Fast, Very-fast Pace についても  $\alpha 1$  左右差係数及び「非活動快」との有意な相関が示された。 $\alpha 1$  左右差については, Fast 及び Very-fast Pace が正の係数であるのに対して, Slow 及び Very-slow Pace は負の係数を示した。Fast と Very-fast の高い数値は Preferred Pace からの速度増加が大きいことを, また Slow と Very-slow の低い数値は Preferred Pace からの速度減少が大きいことを表すことから, この結果は Preferred Pace を基準として「遅い」から「速い」までの動作速度の可変幅が広がったことを示す。しかしながら, Non Preferred Pace にはこれらの要因以外に, Slow 及び Very-slow Pace では Pz における First Peak, Fast と Very-fast Pace では Fz における First Peak との有意な相関が認められた。また, Slow Pace と Very-slow Pace については, 因子分析の結果においても脳波 First Peak に対応する因子に含まれた。これらのことから, Non Preferred Pace と脳波の覚醒水準との関係は Preferred Pace よりも強いと考えられる。

## 2) Very-slow Pace の特性

Fast Pace 及び Very-fast Pace の日内変動は 1～2 時間の周期で増減を繰り返す類似の変動パターンを示した。一方, Slow Pace も同様の周期性が認められたが, Very-slow Pace についてはこれらのパターンと異なった。Very-slow Pace は 1100 から 1130 にかけて減少し, Slow Pace との差異が明確であったが, 1430 から 1530 にかけて速度減少が少なく差異が縮まった。因子分析の結果, Very-slow Pace が前頭部  $\alpha 2$  左右差係数と同じ因子に含まれていることからその変動パターンに着目すると, 先の時間帯は  $\alpha 2$  帯域左右差係数の午前における増加のピークと午後における減少のピークに一致する。つまり, 前頭部右半球の含有率が高い状態にある午前では Very-slow Pace 時の速度減少が可能であったが, 低下した午後では減少が抑制され Slow Pace との差異を明確にすることが出来なかったといえる。周波数が 11Hz 以上の fast alpha 成分は脳の覚醒水準上昇に対応する(大熊, 1999)ことから, Very-slow Pace は左半球における比較的高い水準の覚醒が保たれるこ

とによって速度減少が可能であると考えられる。一方 **Slow Pace** の場合は、順位相関の結果から有意水準には至らなかったが、「眠気」の間に正、「集中」との間に負の関係が示されており、主観的に評価される覚醒水準の低下に伴って動作速度が減少している。石橋と吉田(2000)は視覚刺激に対する弁別ボタン押し実験から、反応刺激呈示直前の頭頂部周辺の覚醒水準低下が反応時間の遅延に関連することを報告した。この結果は本研究の **Slow Pace** と同様に覚醒低下に伴うパフォーマンスの悪化を示すものであり、遅い速度遂行に随意的なコントロールによる要素とパフォーマンスの悪化による要素が存在すると考えられる。

成瀬と佐久間(2001)は、前腕回転課題を 5rpm 以下の **Very-slow Pace** で遂行中の脳波を測定し、動作速度と動作の円滑さを示す変動係数及び頭頂部(Cz)の $\beta$ 波(13-30Hz)含有率との間に負の相関を認めた。また、Sadato, Ibañez, Deiber, Campbell, Leonardo, and Hallett(1996)の0.25Hzから4Hzまでの8種類の音刺激に親指と人差し指の対向動作課題を行った実験では、0.25Hzと0.5Hz (**very slow rate**)遂行時に同期誤差が大きく、補足運動野における血流量の増加を認めた。これらの報告は、**Very-slow Pace** が意識的なコントロールの要求される速度であり、**Slow Pace** と異なるメカニズムを持つことを示唆するが、遂行前の中枢神経活動に差異が認められた本研究の結果はこれを支持するものである。

(この研究は平成13年度特別研究助成費の交付を受けた。)

## 文 献

- Blinkenberg, M., Bonde, C., Holm, S., Svarer, C., Andersen, J., Paulson, O. B., & Law, I. (1996) Rate dependence of regional cerebral activation during performance of a repetitive motor task: a PET study. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 16, 794-803.
- Cacot, P., Tesolin, C., & Sebban, C. (1995) Diurnal variations of EEG power in healthy adults. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 94, 305-312.
- Clark, L., Watson, D., & Leeka, J. (1989) Diurnal variation in the positive affects. *Motivation and Emotion*, 13, 205-234.
- Cummings, L., Dane, A., Rhodes, J., & Hughes, A. (2000) Diurnal variation in the quantitative EEG in healthy adult volunteers. *Br J Clin Pharmacol*, 50, 21-26.
- Davidson, R. J., Ekman, P., Saron, C. D., Senulis, J. A., & Friesen, W. V. (1990) Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology I. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58, 330-341.
- Deiber, M. P., Honda, M., Ibañez, V., Sadato, N., & Hallett, M. (1999) Mesial motor areas in self-initiated versus externally triggered movements examined with fMRI: effect of movement type and rate. *Journal of Neurophysiology*, 81, 3065-3077.
- Gevins, A., Smith, ME., McEvoy, L., & Yu, D. (1999) High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effect of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex*, 7, 374-385.

- Hall, E. E., Ekkekakis, P., Van Landuyt, L. M., & Petruzzello, S. J. (2000) Resting frontal asymmetry predicts self-selected walking speed but not affective responses to a short walk. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71, 74-79.
- 橋本公雄(1995) 快適自己ペース走による心理的ストレス低減効果に関する基礎的研究—特に運動に伴うポジティブな感情の変化について—。奈良女子大学博士論文。
- 林光緒, 堀忠雄, 杉本助男(1987) 日中の眠気におけるウルトラディアン・リズムの検討. *Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*, 5, 21-28.
- Hatfield, B. D., Landers, D. L., & Ray, W. J. (1984) Cognitive process during self-paced motor performance: an electroencephalographic profile of skilled marksman. *Journal of Sport Psychology*, 6, 42-59.
- Hayashi, M., Sato, K., & Hori, T. (1994) Ultradian rhythms in task performance, self-evaluation, and EEG activity. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 791-800.
- 平仲二, 今若修, 杉之原正純(1993) 反復運動時の精神テンポに関する生理心理学的研究. *スポーツ心理学研究*, 20, 36-41.
- 石橋基範, 吉田倫幸(2000) 覚醒低下に伴う反応時間と脳波の変動. *人間工学*, 36, 229-237.
- Jahanshahi, M., Jenkins, I. H., Brown, R. G., Marsden, C. D., Passingham, R. E., & Brooks, D. J. (1995) Self-initiated versus externally triggered movements I. An investigation using measurement of regional cerebral blood flow with PET and movement-related potentials in normal and Parkinson's disease subjects. *Brain*, 118, 913-933.
- 川岸恵子, 平井タカネ(1980) 繰り返し動作における Preferred Tempo と心拍・呼吸数の関連. 大阪体育大学紀要, 11, 7-14, 1980.
- Landers, D. M., Han, M., Salazar, W., Petruzzello, S. J., Kubiz, K. A. & Gannon, T. L. (1994) Effect of learning on electroencephalographic and electrocardiographic pattern in novice archers. *International Journal of Sports Psychology*, 25, 313-330.
- Manseau, C. & Broughton, R. (1984) Bilaterally synchronous ultradian EEG rhythms in awake humans. *Psychophysiology*, 21, 265-273.
- Monk, T., Buysse, D., Reynolds, C., Berga, S., Jarrett, D, Begley, A. & Kupfer, D. (1997) Circadian rhythms in human performance and mood under constant conditions. *J. Sleep Research*, 6, 9-18.
- 成瀬九美(2001a) 前腕回転課題における Preferred Tempo の恒常性に関する基礎的研究. 樟蔭女子短期大学紀要, 15, 107-114.
- 成瀬九美(2001b) 安静時の前頭部における脳波の左右差及び P300 と Preferred ペースの関連性. *日本生理人類学会誌*, 6, 27-32.
- 成瀬九美, 佐久間春夫(2001) 遅い速度の動作遂行に伴う精神生理学的応答の特性. *バイオフィードバック研究*, 27, 30-36.
- Naruse, K., & Hirai, T. (2000) Effects of slow tempo exercise on respiration, heart rate, and mood state. *Perceptual and Motor Skills*, 91, 729-740.
- Naruse, K., Sakuma, H. & Hirai, T. (2001) Properties of internal speed control and psychophysiological response during continuous forearm rotation movement. *Perceptual and Motor Skills*, 93, 387-396.
- Okawa, M. Matousek, M., & Peterén, I. (1984) Spontaneous vigilance fluctuation in the daytime. *Psychophysiology*, 21, 207-211.
- 大熊照雄(1999) 臨床脳波学(第5版), 医学書院, 85.
- Ortega, S., & Cabrera, M. (1990) Ultradian rhythms in the EEG and task

- performance. *Chronobiologia*, 17, 183-194.
- Papa, S. M., Artieda, J., & Obeso, J. A. (1991) Cortical activity preceding self-initiated and externally triggered voluntary movement. *Movement Disorders*, 6, 217-224.
- Petruzzello, S. J., & Landers, D. N. (1994) State anxiety reduction and exercise: dose hemispheric activation reflect such change? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 1028-1035.
- Petruzzello, S. J., & Tate, A. K. (1997) Brain activation, affect, and aerobic exercise: an examination of both state-independent and state-dependent relationship. *Psychophysiology*, 30, 547-558.
- Rimoldi, H. J. A. (1951) Personal tempo. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 46, 283-303.
- Sadato, N., Ibañez, V., Deiber, M., Campbell, G., Leonardo, M., & Hallett, M. (1996) Frequency-dependent changes of regional cerebral blood flow during finger movements. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 16, 23-33.
- Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., & Myungwoohan, H. (1990) Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research Quarterly For Exercise and Sports*, 61, 351-359.
- Salvendy, G. & Pilitsis, J. (1971) Psychophysiological aspects of paced and unpaced performance and influenced by age. *Ergonomics*, 14, 703-711.
- Smith, M., McEvoy, L. K., & Gevins, A. (1998) Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Cognitive Brain Research*, 7, 389-404.
- Smoll, F. L. (1975a). Preferred tempo in performance of repetitive movement. *Perceptual and Motor Skills*, 40, 439-442.
- Smoll, F. L. (1975b). Between-Days Consistency in Personal Tempo. *Perceptual and Motor Skills*, 41, 731-734.
- Taguchi, S., Gilner, J. A., Horvath, S. M., & Nakamura, E. (1981) Preferred tempo, work intensity, and mechanical efficiency. *Perceptual and motor skills*. 52, 443-451.
- Tajima, M. & Choshi, K. (1999) Pattern formation in polyrhythmic tapping at a self-paced tempo. *Perceptual and Motor Skills*, 88, 1160-1168.
- 寺崎正治, 岸本陽一, 古賀愛人(1992)多面的感情状態尺度の作成. *心理学研究*. 62, 350-356.
- Tomarken, A., Davidson, R., Wheeler, R. E., & Kinney, L. (1992) Psychometric properties of resting anterior EEG asymmetry: temporal stability and internal consistency. *Psychophysiology*, 29, 576-592.
- Tsuji, Y. & Kobayashi, T. (1988) Short and long ultradian EEG components in daytime arousal. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70, 110-117.
- 山西正記, 坂手照憲(1999)片手のリズムカルな動作における動作周波数と振幅の制御特性. *人間工学*, 35, 385-393.
- Wessel, K., Zeffiro, T., Toro, C., & Hallett, M. (1997) Self-paced versus metronome-paced finger movements. *Journal of Neuroimaging*, 7, 145-151.