

平成 29 年度  
修士学位論文

# ランダムなリズムへの順応がパタン知覚 および運動出力に及ぼす影響

Effects of adaptation to random rhythm on temporal  
pattern perception and motion control

1205083 西村 朱子

指導教員 繁桝 博昭

2018 年 2 月 28 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻  
情報システム工学コース

## 要 旨

# ランダムなリズムへの順応がパターン知覚 および運動出力に及ぼす影響

西村 朱子

空間的なパターンランダムネス残効では，先行刺激のランダムネスに依存して後続するパターンの知覚が変容することが報告されており（Yamada et al., 2013），我々は，聴覚における時間的パターンにおいても同様の負の残効がみられることを示した（西村・繁樹, 2017）．一方で，こうした入力系である知覚と出力系である運動は互いに作用する関係にあり，外部情報をもとに形成された知覚表象によって運動が制御されていると考えられる．しかし，ランダムパターンによる知覚順応が運動出力に及ぼす影響については明らかではない．そこで本研究では，ランダムな時間パターンの聴覚順応刺激を提示した後に，規則的なタッピングを行う課題を課すことで，時間パターンによる順応効果が運動出力に与える影響について検討した．また，知覚順応における聴覚と視覚の違いが運動出力に与える影響についても検討した．さらに，ランダムなリズムへの順応後の運動出力時における主観的な身体知覚の変容を検討するため，タッピング時の自己操作感についても検討した．その結果，聴覚順応下において，知覚的残効とは異なり運動出力では正の残効が見られ，この効果は，先行刺激提示時に運動出力を伴わなくても生じることが示された．聴覚/視覚による運動出力への有意な順応の効果は認められなかったが，聴覚/視覚条件ともにコンスタント/ランダム条件間に自己操作感の違いが見られた．このことから，刺激のコンスタント/ランダムによる違いは自己操作感に影響を及ぼすことが示された．

キーワード 運動，タイミング制御，パターン知覚，残効



# Abstract

## Effects of adaptation to random rhythm on temporal pattern perception and motion control

NISHIMURA, Akane

Human visual system can discriminate regularly distributed and randomly distributed patterns (Yamada et al., 2013). They reported that the perceived spatial randomness decreased (or increased) following adaptation to high (or low) physical randomness, and we reported that the auditory system is actually adapted to temporal pattern randomness and showed a negative aftereffect (Nishimura & Shigemasa, 2017). On the other hand, perception (input system) and motor control (output system) interacts with each other. Although it is considered that motor control is performed by perceptual representation based on perception information, there is no report of the effect of perceptual adaptation by random pattern on motor control. Therefore, in this study, it was examined the influence of the adaptation effect by the temporal pattern on the motor control by the task of performing temporal tapping after presenting the auditory adaptation stimulus of the random pattern. In addition, the influence of difference of auditory and visual perception on motor control was examined. In order to examine subjective perception of physical perception at the time of motor control after adaptation to random pattern, the sense of agency at temporal tapping was also examined. In a result, the higher the temporal randomness of stimulus the more random the motor control was found as a positive aftereffect, which differs from a perception aftereffect, and the effect occurred even when presenting the auditory stimulus without

tapping. Although no significant effect of the adaptation on auditory or visual motor control was found, there was a difference in sense of agency between constant or random conditions for both auditory and visual conditions. From this result, it was shown that the difference due to constant or random temporal pattern influences sense of agency rather than perceptual adaptation.

***key words***     motion, timing control, random pattern perception, aftereffect

# 目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	背景 . . . . .	1
1.2	順応と残効 . . . . .	2
1.3	ランダムネス残効 . . . . .	3
1.4	時間知覚 . . . . .	4
1.4.1	内的時計論と動的注意論 . . . . .	4
1.5	リズム知覚 . . . . .	6
1.6	自己操作感 . . . . .	6
1.7	目的 . . . . .	7
第 2 章	実験 1	8
2.1	実験方法 . . . . .	8
2.1.1	実験装置 . . . . .	8
2.1.2	実験環境 . . . . .	11
2.1.3	刺激 . . . . .	12
2.1.4	被験者 . . . . .	15
2.1.5	実験条件 . . . . .	15
2.1.6	手続き . . . . .	15
2.2	分析方法 . . . . .	17
2.3	実験結果 . . . . .	18
2.4	先行刺激のランダムネスの効果についての考察 . . . . .	21
2.5	先行刺激にあわせたタッピングの効果についての考察 . . . . .	22
第 3 章	実験 2	23

## 目次

3.1	実験方法 . . . . .	23
3.1.1	実験装置 . . . . .	23
3.1.2	実験環境 . . . . .	24
3.1.3	刺激 . . . . .	24
3.1.4	被験者 . . . . .	27
3.1.5	実験条件 . . . . .	27
3.1.6	手続き . . . . .	27
3.2	実験結果 . . . . .	29
3.3	知覚情報 (聴覚/視覚) の効果についての考察 . . . . .	34
3.4	タッピング時の自己操作感についての考察 . . . . .	34
第 4 章	まとめ	36
4.1	今後の課題 . . . . .	37
4.1.1	先行刺激提示なし条件の追加 . . . . .	37
4.1.2	音楽経験者と非経験者での群別の検討 . . . . .	37
謝辞		38
参考文献		39

# 目次

1.1	視覚の空間パターンにおけるランダムネス残効 . . . . .	3
1.2	内的時計論 (時間とリズムをつなぐ注意のダイナミクス [15] より引用) . . .	5
2.1	イヤホン . . . . .	9
2.2	防音用イヤーマフ . . . . .	9
2.3	騒音計 . . . . .	10
2.4	暗室 . . . . .	10
2.5	反応時間取得用キーボード . . . . .	10
2.6	実験 1 の模式図 . . . . .	11
2.7	規則的な時間パタンの例 . . . . .	13
2.8	ランダムな時間パタンの例 . . . . .	13
2.9	実験 1 の手続き . . . . .	16
2.10	データの抽出 . . . . .	17
2.11	各タッピングにおける時間間隔の分散 (実験 1) . . . . .	18
2.12	sub01 の結果 . . . . .	18
2.13	sub02 の結果 . . . . .	18
2.14	sub03 の結果 . . . . .	19
2.15	sub04 の結果 . . . . .	19
2.16	sub05 の結果 . . . . .	19
2.17	sub06 の結果 . . . . .	19
2.18	sub07 の結果 . . . . .	19
2.19	sub08 の結果 . . . . .	19
2.20	sub09 の結果 . . . . .	20
2.21	sub10 の結果 . . . . .	20

## 図目次

2.22 sub11 の結果 . . . . .	20
2.23 sub12 の結果 . . . . .	20
2.24 sub13 の結果 . . . . .	20
2.25 sub14 の結果 . . . . .	20
2.26 sub15 の結果 . . . . .	21
2.27 規則的タッピング出力における内的処理モデル . . . . .	21
3.1 CRT ディスプレイ . . . . .	23
3.2 あご台 . . . . .	23
3.3 実験環境の模式図 . . . . .	24
3.4 視覚刺激 . . . . .	25
3.5 注視点 . . . . .	25
3.6 実験 2 の手続き . . . . .	28
3.7 各タッピングにおける時間間隔の分散 (実験 2) . . . . .	32
3.8 自己操作感の主観評価値 (1: 自己操作感が小さい, 7: 自己操作感が大きい)	32
3.9 聴覚刺激-タッピングあり (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ラン ダム) . . . . .	33
3.10 聴覚刺激-タッピングなし (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ラン ダム) . . . . .	33
3.11 視覚刺激-タッピングあり (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ラン ダム) . . . . .	33
3.12 視覚刺激-タッピングなし (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ラン ダム) . . . . .	33
3.13 自己操作感の変容過程 . . . . .	35

# 表目次

2.1	各条件ごとの聴覚刺激の ISI 設定値 (単位: ms) . . . . .	14
3.1	各条件ごとの視覚刺激の ISI 設定値とフレーム数 . . . . .	26
3.2	タッピングあり条件における各条件ごとの自己操作感の主観評価値 . . . . .	30
3.3	タッピングなし条件における各条件ごとの自己操作感の主観評価値 . . . . .	31

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 背景

人間の視覚システムでは空間的に配置されたパタンのランダムネスを瞬時に見分けられることから，空間パタンのランダムネスに適応できると考えられ，先行刺激のランダムネスに依存して後続するパタンの知覚が変容する，空間的なパタンランダムネス残効が生じることが報告されている [1]．聴覚においてもこのことと同様に，ある規則的な時間パタンからランダムな時間パタンを弁別できることから，時間的なランダムネスにも適応できると考えられ，我々は聴覚におけるランダムな時間パタンによる残効が生じることを示した [2]．一方で，こうした入力系である知覚と出力系である運動は互いに作用する関係にあり [3]，外部情報をもとに形成された知覚表象によっても運動が制御されていると考えられている．知覚と運動が密接な関係にある一例として，音楽的な訓練を受けていなくても自発的に聴覚リズムに身体を同期できることが多いことや [4, 5]，音リズム刺激を提示するだけでもパーキンソン病患者の歩行リズムが改善されたことが報告されている [6]．しかし，知覚が運動に与える影響について検討した研究は，知覚情報と運動出力の同期/非同期における実験が多く，知覚順応が運動出力に及ぼす影響について検討した実験は少ない．また，同期タッピングの継続パラダイムを用いて，リズム刺激との同期タッピングがその後の規則的な運動出力の精度を向上させることが報告されているが [7]，刺激提示時に同期タッピングをする条件のみであるため，タッピングせずに知覚情報を提示するのみでもその効果が生じるのかは明らかでない．さらに，我々が検討してきたランダムネス残効を生じるような，ランダムネスの異なる時間パタンの順応刺激による規則的な運動出力への影響を検討した研究はなされてい



## 1.2 順応と残効

ない。

## 1.2 順応と残効

ある大きさの音を提示する際，この音よりも大きい音を事前に提示する場合と小さい音を提示する場合では知覚内容が異なり，前者では実際よりも小さく，後者では実際よりも大きく知覚される．このように物理的には同一の大きさであっても，事前に提示される音の大きさによって後に提示される音の大きさの知覚は相対的に決定される．こうした現象から，人の知覚とは相対的なものであり，ある刺激に対して柔軟に感度を変えるシステムが備わっており，これにより様々な環境に適応していると考えられる [8, 9]．このシステムのことを順応といい，これは視覚や聴覚などのすべての知覚システムにおいてみられ，ある感覚器に一定時間以上の刺激を継続的に与えることによって，次第にその刺激の特性による効果が減少し，同時にその刺激やそれに類似した刺激に対しての感度が変化する現象のことである．このような順応が成立した前後では知覚が異なり，順応によって後続刺激の知覚が変化することを残効という．順応と残効の例としてラウドネス残効が挙げられる [10]．映画館のような大きな音が鳴る場所でその音を聞くと，始めはその音がうるさく感じられるが，しばらくその音の大きさを聴取し続けると，人間の内的処理では入力刺激に対して受容器の感度を調整し，その刺激に適応できるように補正しようとする働きが起こり（順応），入力刺激の音の大きさが変わっていないにも関わらず，始めはうるさいと感じられていた音は次第にうるさく感じなくなり，順応する前後で知覚が変容している（残効）．こうした順応が生じることを調べるためには，残効がみられるかを確かめることが実験の有効な手段である．このように，順応は環境に合わせて感度を柔軟に変化させるために生じると考えられ，ある刺激に対して順応が生じたということは，同時に，その情報処理に特化した処理機構が存在することを意味している．

## 1.3 ランダムネス残効

空間パターンにおけるランダムネス残効では，先行刺激のランダムネスに依存して後続する空間パタンのランダムネス知覚が変容することが報告されており [1]，等間隔に配置されている空間パターンに順応すると後続する空間パターンはランダムに知覚され，ランダムネスの高い空間パターンに順応すると後続する空間パターンは整列しているように知覚されるといった，入力情報と出力結果の特徴が逆転する負の残効が生じる（図 1.1）。

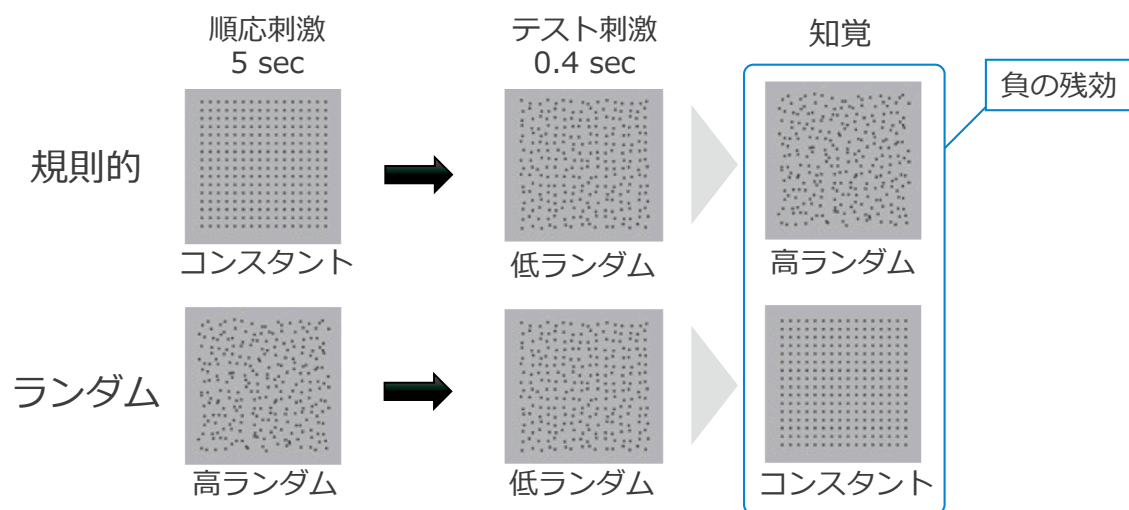


図 1.1 視覚の空間パターンにおけるランダムネス残効

一方，時間パターンにおけるランダムネス残効でも，視覚の空間パターンでのランダムネス残効と同様に負の残効が生じることを我々は示し，ヒトは空間および時間パターンにおいてランダムネスに適応でき，ランダムネスに対する処理機構の存在が示唆した．時間パターンにおけるランダムネス残効では，視覚刺激による検討もなされているが，聴覚刺激とは異なり，有意な残効の効果は見られていない．しかし，等間隔な時間パターンである視覚刺激とランダムな時間パタンの聴覚刺激を同時提示することで，ランダムな聴覚パターンによって誘発された視覚のランダムネスによる残効が生じることを報告している．Recanzone (2003) によると，時間上において視覚情報と聴覚情報に矛盾が生じている場合，聴覚情報を信頼度の高い情報

## 1.4 時間知覚

として処理されることが示されており，時間上の現象におけるランダムネス残効は視覚情報よりも聴覚情報によって生じると考えられる．

## 1.4 時間知覚

ヒトの聴覚は時間軸をどれくらいまで細分化して音を知覚できるかを検討した研究があり，0.1 ms 程度の非常に短いクリック音を継時的に 2 つ提示し，音の始まりから次の音の始まりまでの時間間隔を変化させると，1-2 ms 以上の間隔がなければ 2 つの音があるようには感じられず，1 つの音が知覚されることは実験的に明らかにされており，時間知覚における最短の時間間隔となりうる範囲は 1-2 ms 程度だと報告されている．これは聴覚に限った話ではなく，視覚や触覚においても同程度の値を示しており，感覚情報の違いによらず共通の時間知覚の仕組みが存在することが示唆されている．また，3 つ以上の音を提示する場合には，2 つのクリック音を提示するときと同様に，20 ms の時間間隔で提示しても 3 つの音ではなく，2 つの音であるように感じられることが多く，連続する音すべてを正確に知覚するためには最低でも 50 ms 程度の時間間隔が必要だと報告されており [11]，音数をひとつずつ数え上げるためにはそれよりも長い 200 ms 程度の時間間隔が必要だとされている [12, 13]．以上のことから，聴覚の時間分解能は刺激やその状況によって大きく変動するが，3 つ以上の音をもれなく判別するために必要である 50 ms 程度の時間間隔が空いていれば，時間的なランダムネスの判断の前提となる刺激間隔の知覚は可能であると考えられる．

### 1.4.1 内的時計論と動的注意論

提示される刺激の時間間隔が連続的に並ぶことによってリズムが知覚されるが，このリズムを構成している時間間隔の知覚は，持続時間由来の内的時計論とタイミング由来の動的注意論が挙げられる．脳内に時間を計測する処理機構が存在することを仮定した内的時計理論では，ペースメーカーとアキュムレーターという 2 つの機構から構成される．内的時計論のモデルでは，時間間隔の始まりが入力されるとペースメーカーのスイッチが入り，一定の間

## 1.4 時間知覚

隔でパルスが出力されアキュムレーターに蓄積されていく。一方，時間間隔の終わりを示す刺激が入力されるとペースメーカーのスイッチが切られパルスの出力が止まり，時間の評価は，アキュムレーターに蓄積された知覚的な時間の長さに相当するパルス量の計算によってなされていると考えられている [14]。図 1.2 に内的時計論の概念図を示す。

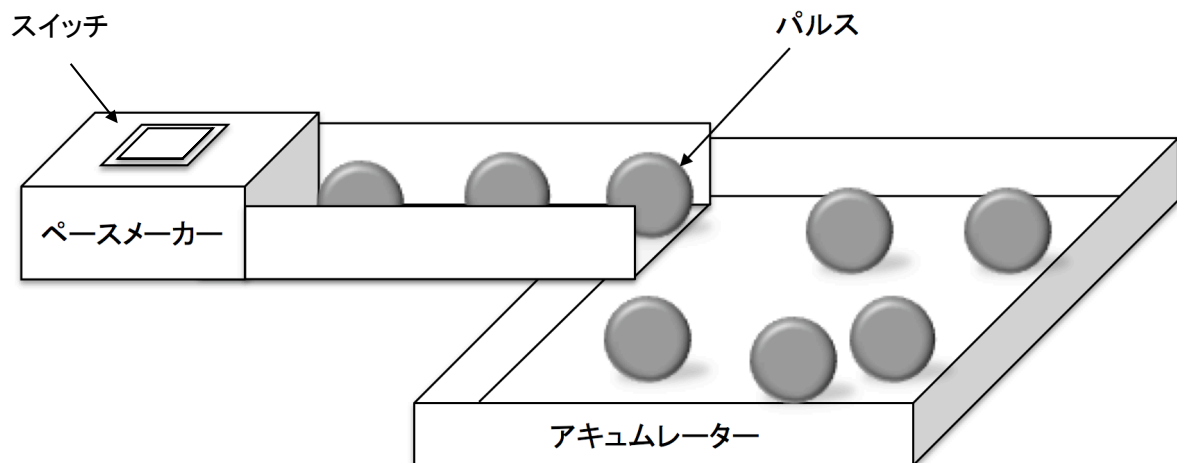


図 1.2 内的時計論 (時間とリズムをつなぐ注意のダイナミクス [15] より引用)

一方，ある時間パターンにおいて標準時間に比べて比較時間の長短を弁別する課題での時間知覚については，動的注意論で説明されている。このような課題では標準時間が繰返し提示されることで等間隔の時間パタンのリズムが形成され，聴取者は次の音のタイミングの予測が可能となる。この情報を利用し，予測のタイミングより前であれば比較時間は短く，後であれば比較時間は長いと判断される。動的注意論はこの予測が行われているときの知覚的な内部処理を説明したモデルであり，注意は時間軸に沿って変動することを仮定している。等間隔の時間パターンが繰返し提示されると，この時間パターンと同等の周期で注意が形成され，それと同時にこの注意は時間間隔の出現回数に応じて増大していくと考えられている。これにより，形成された注意のタイミングと比較して，比較時間の出現タイミングが早いか遅いかによって比較時間の時間知覚の長短を弁別できる。

### 1.5 リズム知覚

雨だれや歩行音，ドアのノックのように，我々はある一定の時間間隔をもった 2 つ以上の音が続けて提示されるとリズムを感じることができる．視覚に比べて聴覚は時間分解能が高く，リズム知覚においても聴覚が優れていると考えられる．リズムは時間軸上での事象に由来するものであるため，空間知覚に優れている視覚においても，刺激を点滅させたり運動させたりすることによって時間軸上の事象にすることでリズムを知覚することができる．こうしたリズムを知覚するためには，隣り合う音と音の間隔が適切な時間である必要があるが，この間隔が長すぎると音が連続しているように認識されず，リズムとして知覚されなくなり，多くの実験からその時間間隔は 1500 ms 程度を上限とされている．

### 1.6 自己操作感

自己操作感 (sence of agency) [16] とは，自分自身が行った行動が主体的に行われた感覚のことである．我々が行動をする際には常に予測が働いており，予測と異なる運動出力となった場合にこの感覚が低下すると言われている．自己操作感の生起には，この予測が関わっており，実際の結果と矛盾が生じない場合に生起すると考えられる．実際，自身の行動と知覚フィードバックが不一致である場合には自己操作感が低下すると報告されている [17]．また，この感覚は難易度の高い課題を行った場合にも低下することや [18]，ある行動に対してポジティブ（またはネガティブ）なフィードバックを与えると自己操作感が向上（または低下）するといった，課題の結果に対する自身の感情的側面が影響することが報告されている．これらのことより規則的なタッピング課題時での自己操作感の変容を検討することで，提示される刺激が実験課題での運動意図を阻害する要因となっているかを検討できると考えられる．

## 1.7 目的

## 1.7 目的

本研究では、我々が検討してきた時間パターンにおけるランダムネス残効での知覚的変容が運動出力に及ぼす影響について検討するため、ランダムネスの異なる時間パタンの先行刺激を提示した後に、規則的なタッピングを行う課題を課し、ランダムネスの異なる時間パタンの順応刺激が規則的な運動出力に与える影響について検討した。実験 1 では、聴覚順応刺激による時間パタンのランダムネスの効果が運動出力に与える影響について検討した。それと同時に、刺激提示時に身体運動を同調させるタッピング（あり/なし）の効果についても検討した。実験 2 では、知覚情報（聴覚/視覚）の違いが運動出力に与える影響について検討し、同時に、ランダムなリズムへの順応後の運動出力時における主観的な身体知覚の変容を検討するため、タッピング時の自己操作感についても検討した。

## 第 2 章

# 実験 1

### 2.1 実験方法

聴覚順応刺激を提示した後に規則的なタッピング課題を課した実験 1 の方法について述べる．

#### 2.1.1 実験装置

刺激の生成・制御および被験者の反応の取得には MATLAB (2017a) および MATLAB 上で動作する心理学実験ライブラリである Psychtoolbox[19, 20, 21] を使用した．提示した刺激については第 2.1.2 項で詳細を述べる．

聴覚順応条件である実験 1 では，聴覚刺激を提示するためのイヤホン (SONY 社，MDR-EX800ST) を用いた．課題における被験者のタッピングの反応時間計測の入力装置として，ゲーミング用のキーボード (Logicool 社，G105) を使用した．聴覚刺激の音の大きさは騒音計 (FUSO 社，SD-2200) を用い，イヤホンのイヤーチップを外した状態で，測定器の集音部分とイヤホンの出力部分が密着させて計測し，被験者間で音の大きさを統制した．実験では，イヤホンを装着した状態からイヤーマフ (3M Peltor 社，X5A) を装着することで，タッピングによる聴覚フィードバックや実験で提示される聴覚刺激以外の音を与えないようにした．また，外部からの光によって実験に影響を及ぼさないようにするため実験は縦 150 cm, 横 120 cm, 高さ 200 cm の暗室内で行った．図 2.1 から図 2.5 に実験で用いた機材を示し，本研究の実験で用いた PC のスペックを以下に示す．

## 2.1 実験方法

- OS: Windows 7 Home Premium Service Pack 1
- CPU: Interl Corei5-4590 3.30GHz
- メモリ: 8GB



図 2.1 イヤホン



図 2.2 防音用イヤーマフ



## 2.1 実験方法



図 2.3 騒音計

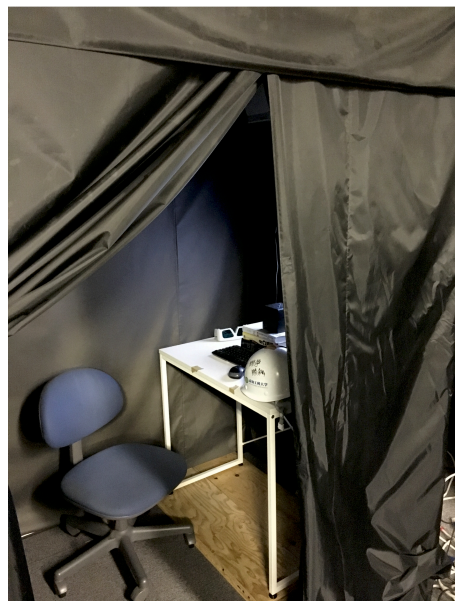


図 2.4 暗室



図 2.5 反応時間取得用キーボード

## 2.1 実験方法

### 2.1.2 実験環境

図 2.6 に実験模式図を示す．被験者は，本実験で課したタッピング課題での指タッピングは机の上に設置されたキーボードを用いて行い，暗室の中に設置された PC 画面を見ながら実験を行った．

実験 1 では聴覚刺激を提示するため，被験者はイヤホンを装着し，その上からイヤーマフを装着することで，タッピング時の音による聴覚フィードバックが与えられないようにした．視覚フィードバックに関して厳密に統制をしていないが，実験中はキーボードのバックライトをオフにしていたことや暗室内の光源は PC 画面のみであったことや，実験中は常に画面を見る必要があったことから，タッピング時の手の動きに関する，視覚的なフィードバックは与えられていない状況下であったと考えられる．

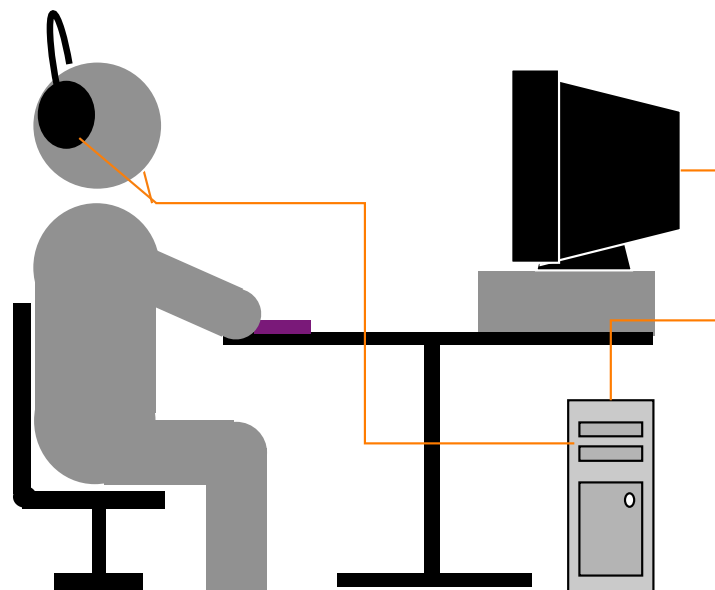


図 2.6 実験 1 の模式図

## 2.1 実験方法

### 2.1.3 刺激

実験 1 で用いた聴覚刺激は 1000 Hz , 50 ms の純音であり , 各純音の始まりと終わりには式 2.1 で表される窓関数をかけることで立ち上がり包絡と立ち下がり包絡をつけた . この処理により急激な振幅の増加・減少によるスペクトルの広がりを抑え , プチッというノイズのような音の知覚がされないようにした .

$$w(x) = 0.5 - 0.5 \cos 2\pi x, \text{ if } 0 \leq x \leq 1 \quad (2.1)$$

先行刺激は , この純音 30 個と規則的もしくはランダムな時間パタンの刺激間隔 ( ISI: inter stimuli interval ) の組み合わせによって構成される 7500 ms 聴覚刺激を用いた . 図 2.7 に規則的な時間パターン , 図 2.8 にランダムな時間パタンの例を示す . 先行刺激の条件は , 規則的な時間パターンであるコンスタント条件と , ランダムな時間パターンである低ランダム条件 , 高ランダム条件の計 3 水準であり , 各条件ごとの ISI を以下に示す .

- コンスタント条件: 200ms
- 低ランダム条件: 150-250 ms
- 高ランダム条件: 100-300 ms

実験で用いた刺激は , 高齢者でもタッピング可能なテンポの上限値と考えられる 4 Hz の周期をもつ時間パターンとして , 規則的なパターンであるコンスタント条件の ISI は 200 ms で固定とし , ランダム条件である低ランダム条件および高ランダム条件の ISI はそれぞれ 150-250 ms , 100-300 ms の範囲とした . ランダム条件の ISI は設定した範囲内で 30 分割し , それをシャッフルして各純音間に挟むことでランダムな時間パターンをもつ刺激とした . 表 3.1 にプログラム中で用いた各ランダム条件における ISI 設定値を示す .

## 2.1 実験方法

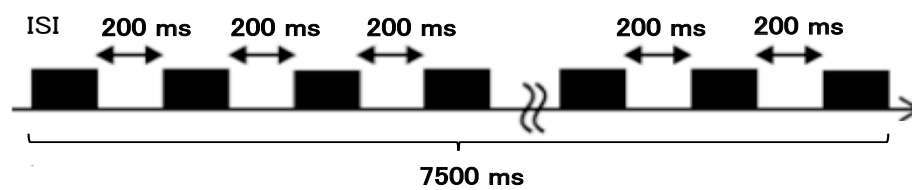


図 2.7 規則的な時間パタンの例

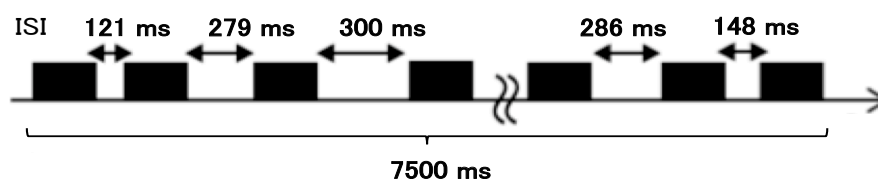


図 2.8 ランダムな時間パタンの例

## 2.1 実験方法

表 2.1 各条件ごとの聴覚刺激の ISI 設定値 (単位: ms)

コンスタント条件	低ランダム条件	高ランダム条件
200	150	100
200	153	107
200	157	114
200	160	121
200	164	128
200	167	134
200	171	141
200	174	148
200	178	155
200	181	162
200	184	169
200	188	176
200	191	183
200	195	190
200	198	197
200	202	203
200	205	210
200	209	217
200	212	224
200	216	231
200	219	238
200	222	245
200	226	252
200	229	259
200	233	266
200	236	272
200	240	279
200	243	286
200	247	293
200	250	300

## 2.1 実験方法

### 2.1.4 被験者

実験に使用のきたさない聴力を有する大学生および大学院生 15 名（男性 9 名，女性 6 名）であった．実験前にはいずれの被験者にも実験目的，内容については書面および口頭で説明し，その内容について十分に理解した上で実験に参加した．被験者は，自由意志のもとで実験に参加することを同意書への署名をもって同意を得た．

### 2.1.5 実験条件

実験条件は，先行刺激に合わせたタッピング（あり/なし）の 2 水準，ランダムネス（コンスタント/低ランダム/高ランダム）3 水準の組み合わせによる計 6 条件から構成された．

### 2.1.6 手続き

被験者が机の上に設置されたキーボードの開始キー（右利き: F キー，左利き: J キー）を押すと，聴覚刺激パターンが 7500 ms 提示され，その間，先行刺激を聞くのみか（タッピングなし条件）先行刺激に合わせてタッピング（タッピングあり条件）を行った．このタッピングあり/なし条件についてはブロックごとの条件とした．その後，時間間隔が規則的になるように 1 試行につき 15 回のタッピングを行った．タッピングの終了時にはピープ音が鳴り，続けて次の試行を行った．タッピングは利き手の人差し指でキーボードの SPACE キーで行った．タッピングの間隔は，実験で提示される聴覚刺激パターンと同等の周期である 4 Hz（BPM=240）とし，タッピング間隔の指標として練習試行の前に提示した．タッピング課題ではこれと同程度のテンポでタッピングすることを教示した．被験者は実験のブロック間で自由に休憩をとりながら実験を行った．図 2.9 に実験 1 の手続きを示す．実験中は提示された聴覚刺激以外の影響を排除するために，カウントしたり，身体の一部を動かしたり，規則的なタッピングをするためにリズムを細かく刻んだりしないように教示した．

実験は先行刺激に合わせたタッピング（あり/なし）×ランダムネス（コンスタント，低ランダム，高ランダム）の計 6 条件を，各条件につき 16 試行ずつ，計 96 試行を行った．この

## 2.1 実験方法

本試行の前に練習試行を 24 試行行った．順序効果を避けるために刺激の提示はランダムな順とした．

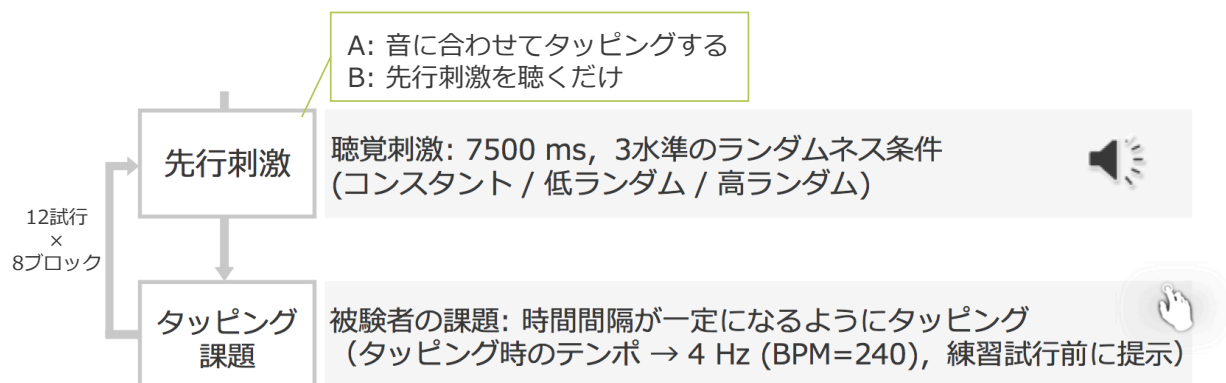


図 2.9 実験 1 の手続き

## 2.2 分析方法

実験から得られたデータは MATLAB (2017a) および Microsoft Excel 2016 を用いて分析した。また、統計学的検定には統計のフリーソフトウェアである R (ver.3.2.3) と、R 上で動作する分散分析関数である `anova` 君 [22] を用いた。実験結果の分析には被験者 15 名のデータを用いた。被験者の中には、課題によるタッピングの反応時間間隔が異常に長いデータが存在している場合があるため、適切なデータの抽出を行った。データの抽出方法は図 2.10 のように、課題で計測したタッピング 15 回分のうち分散の大きい最初の 5 回と、一般的に制御可能なタッピングのタイミングを逸脱したものとして  $\pm 2SD$  から外れるデータを除外した、残りのデータの分散値をタッピングの規則性の指標とした。

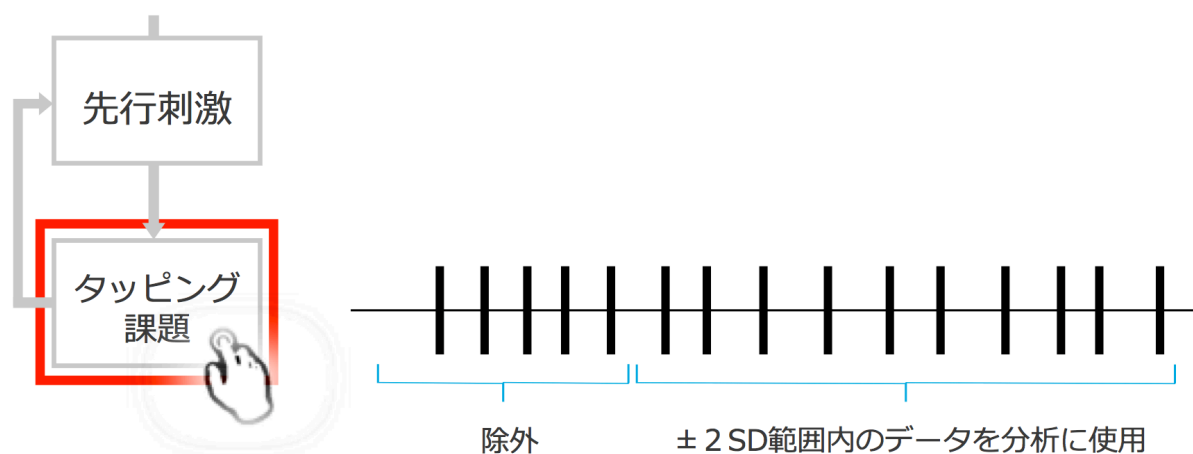


図 2.10 データの抽出



## 2.3 実験結果

分析を行った結果を図 2.11 に示す．被験者ごとのタッピング時間間隔の分散は図 2.12 から図 2.26 に示す．対応あり 2 要因分散分析の結果，先行刺激に合わせたタッピングあり/なしの主効果，および交互作用は有意ではなかったが ( $F(1,14)=1.45$ ,  $p=.25$ ,  $\eta_G^2=0.004$ ,  $F(2,28)=0.58$ ,  $p=.56$ ,  $\eta_G^2=0.002$ )，刺激のランダムネスの主効果が有意であり ( $F(2,28)=5.40$ ,  $p<.05$ ,  $\eta_G^2=0.10$ )，正の残効が見られた．この結果より，先行刺激提示中にタッピングをせず，ランダムなパタンを知覚するのみでも運動出力は大きな分散値となることが示された．

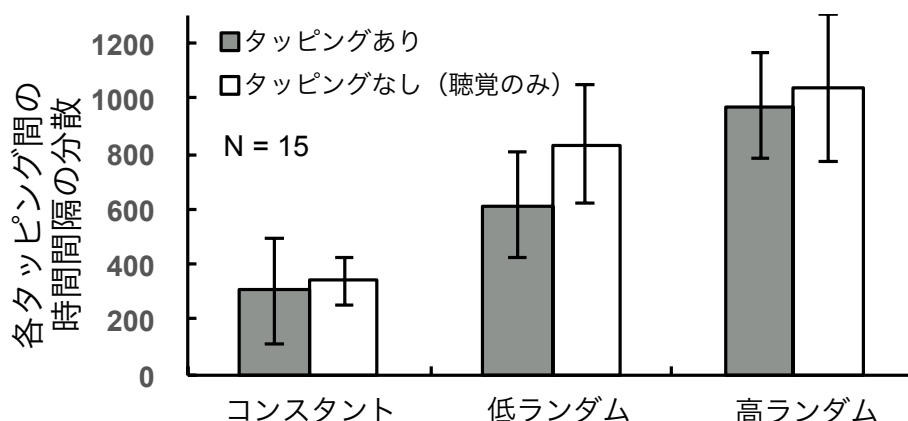


図 2.11 各タッピングにおける時間間隔の分散（実験 1）

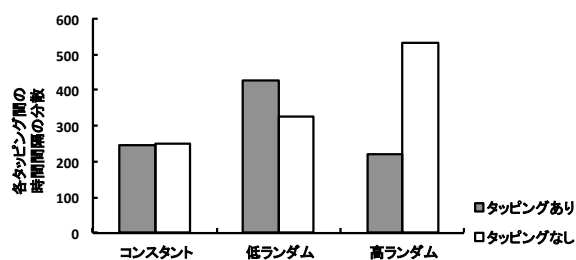


図 2.12 sub01 の結果

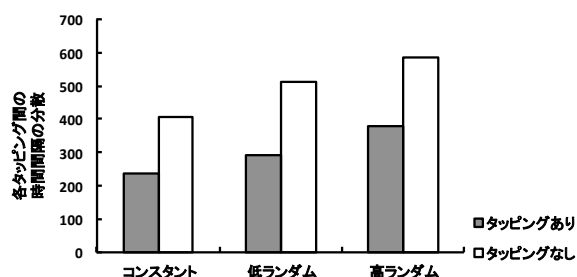


図 2.13 sub02 の結果

## 2.3 実験結果

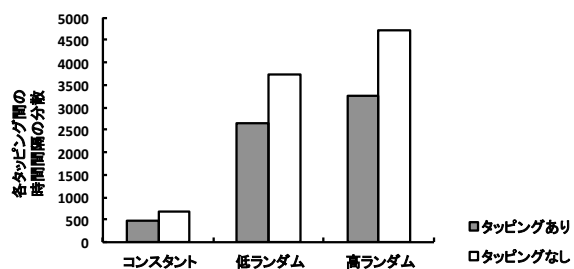


図 2.14 sub03 の結果

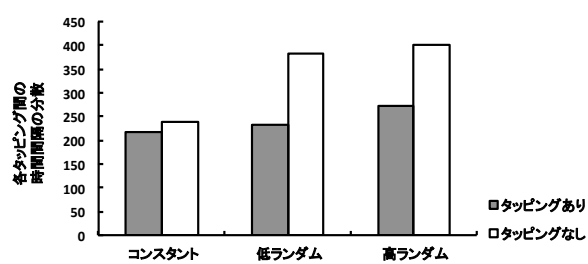


図 2.15 sub04 の結果

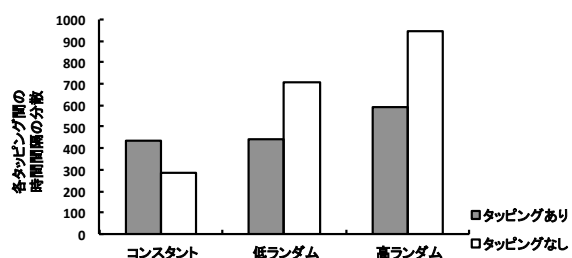


図 2.16 sub05 の結果

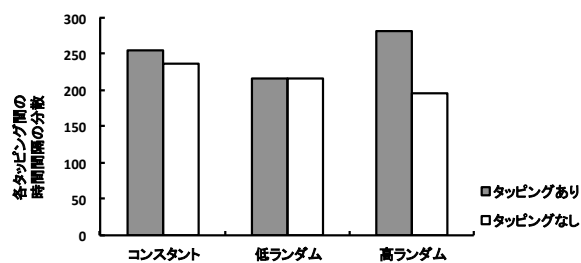


図 2.17 sub06 の結果

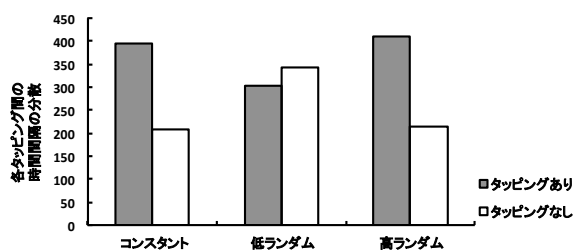


図 2.18 sub07 の結果

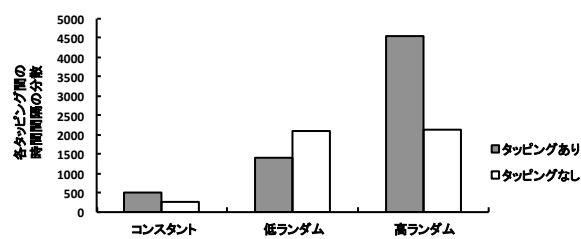


図 2.19 sub08 の結果

## 2.3 実験結果

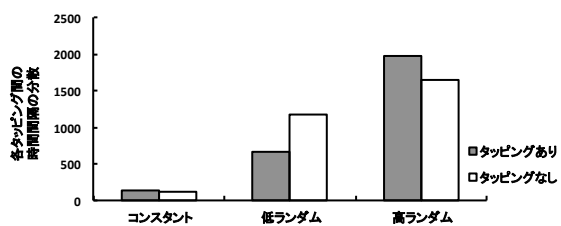


図 2.20 sub09 の結果

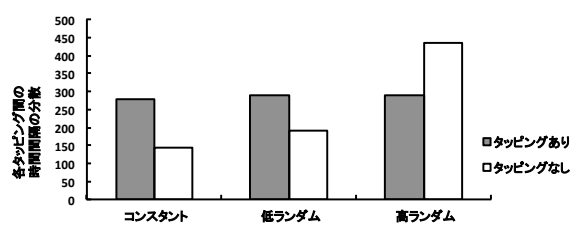


図 2.21 sub10 の結果

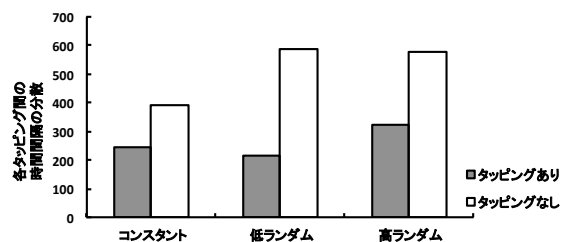


図 2.22 sub11 の結果

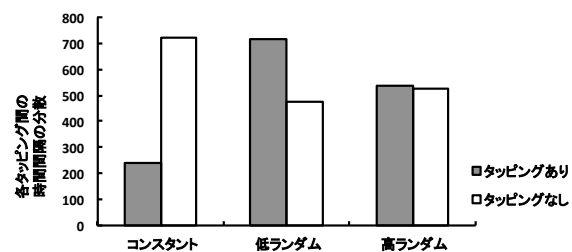


図 2.23 sub12 の結果

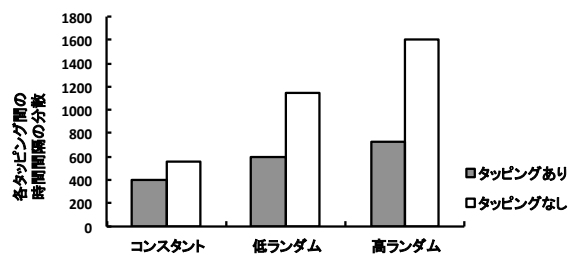


図 2.24 sub13 の結果

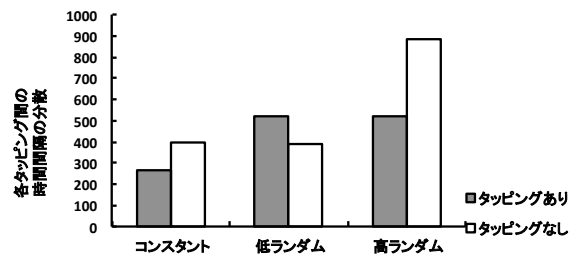


図 2.25 sub14 の結果

## 2.4 先行刺激のランダムネスの効果についての考察

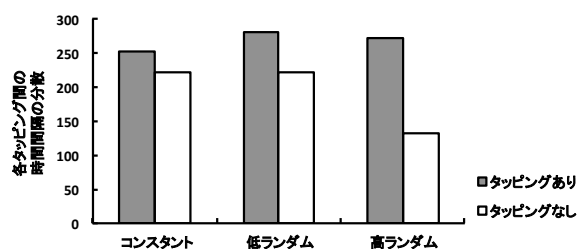


図 2.26 sub15 の結果

## 2.4 先行刺激のランダムネスの効果についての考察

運動出力においては知覚の残効とは異なり正の残効が見られたが，これは規則的なパターンを事前に聴くと，規則的なタッピングに応用できるリズム表象が形成され，その表象の情報を運動出力に用いることができたため規則的なタッピングにおける運動出力の精度が向上し，タッピング時の分散値が小さくなったと考えられる．一方で，ランダムなパターンを事前に聴くと，規則的なパターン出力に応用できない，もしくは阻害するリズム表象が形成されることで，ランダムな運動出力となったと考えられる．図 2.27 にコンスタント/ランダム条件の順応刺激による規則的タッピング出力過程のモデルを示す．

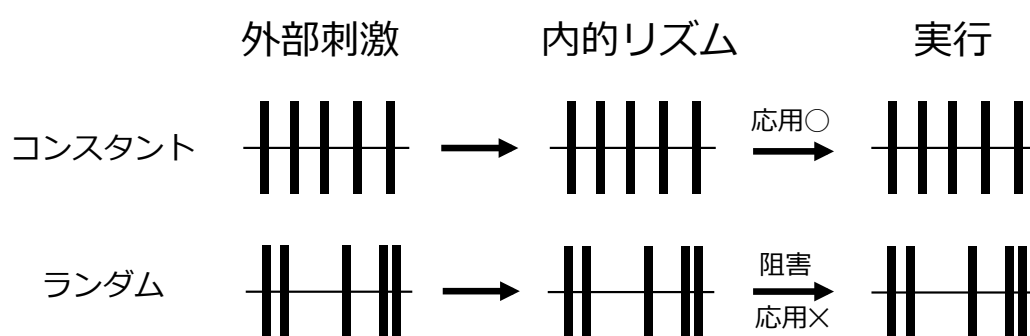


図 2.27 規則的タッピング出力における内的処理モデル

## 2.5 先行刺激にあわせたタッピングの効果についての考察

先行刺激に合わせたタッピングをせず，ランダムなパターンを知覚するのみでも運動出力は大きな分散値となった．それに加えて，先行刺激に合わせたタッピングの効果に有意な差が見られなかったことから，内的リズムは，刺激に合わせたタッピングによって形成されるわけではなく，刺激に合わせたタッピングをせずに知覚するのみでも形成され则认为られる．この結果は，パーキンソン病患者の歩行リズムが歩行に合わせた音刺激の提示だけではなく，音刺激のみでも改善されるという報告 [6] を支持する結果となった．

## 第 3 章

# 実験 2

### 3.1 実験方法

聴覚/視覚順応刺激を提示した後に規則的なタッピング課題を課した実験 2 の方法について述べる。

#### 3.1.1 実験装置

視覚刺激を提示する条件を追加した実験 2 では、実験 1 の装置に加えて、視覚刺激を提示するための CRT ディスプレイ（リフレッシュレート 75 Hz）を用いた。提示した刺激については第 3.1.2 項で詳細を述べる。眼球から刺激までの視距離を統制には、あご台を用いた。図 3.1、図 3.2 にその機材を示す。

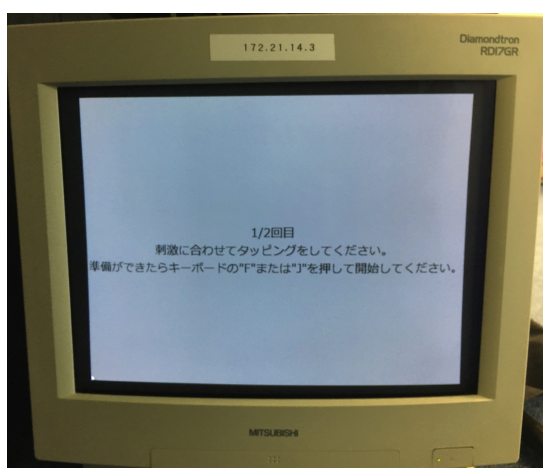


図 3.1 CRT ディスプレイ



図 3.2 あご台

### 3.1 実験方法

#### 3.1.2 実験環境

図 3.3 に実験環境の模式図を示す．実験 2 では視覚刺激を提示する条件があるため，あご台を用いて視距離を固定することで被験者間で網膜上に映る刺激のサイズを統制した．刺激を提示した PC 画面から眼球までの距離は 57 cm とした．それ以外は実験 1 と同様の環境で実験を行った．

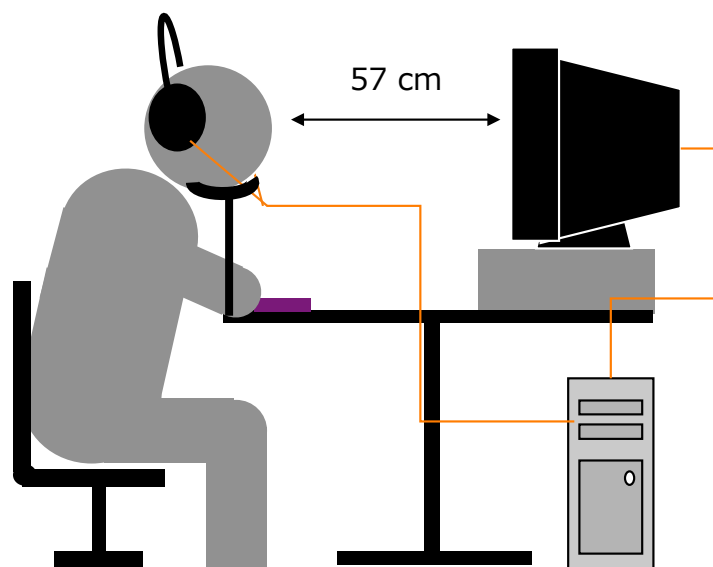


図 3.3 実験環境の模式図

#### 3.1.3 刺激

実験 2 で用いた刺激は聴覚および視覚刺激であり，視覚刺激は直径 1.5 deg の円，注視点は 0.75 deg × 0.75 deg の十字とした．図 3.4，図 3.5 に実験で用いた視覚刺激と注視点を示す．これらの刺激は画面の中央に，灰色の背景に黒色で提示した．視覚刺激の ISI の設定値は聴覚刺激と同様に，コンスタント条件の ISI は 200 ms で固定とし，ランダム条件である低ランダム条件および高ランダム条件の ISI はそれぞれ 150-250 ms，100-300 ms の範囲とした．なお，CRT ディスプレイのリフレッシュレートが 75 Hz であったため，実際の設定値と出力が異なっていたと考えられる．表 3.1 にプログラム中で用いた ISI の値と，フレームレートの関係から実際に出力されていたと考えられる ISI の値を示す．低ランダム条件

### 3.1 実験方法

の ISI は 160-253 ms ( 12-19 フレームの 7 パタン ) , 高ランダム条件の ISI は 93-306 ms ( 7-23 フレームの 15 パタン ) であり , これをシャッフルして各純音間に挟むことでランダムな時間パターンをもつ刺激とした . 聴覚刺激は実験 1 と同様の刺激を用いた .

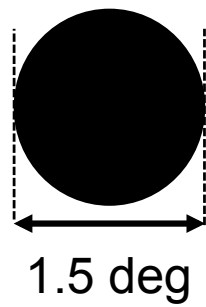


図 3.4 視覚刺激

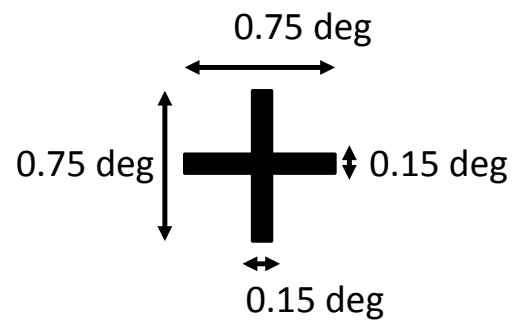


図 3.5 注視点



### 3.1 実験方法

表 3.1 各条件ごとの視覚刺激の ISI 設定値とフレーム数

コンスタント条件		低ランダム条件		高ランダム条件	
設定値 (ms)	フレーム数	設定値 (ms)	フレーム数	設定値 (ms)	フレーム数
200	15 (200 ms)	150	12 (160 ms)	100	7 (93 ms)
200		153		107	9 (120 ms)
200		157		114	10 (133 ms)
200		160		121	
200		164	13 (173 ms)	128	11 (147 ms)
200		167		134	
200		171		141	12 (160 ms)
200		174	14 (187 ms)	148	
200		178		155	
200		181		162	13 (173 ms)
200		184		169	
200		188	15 (200 ms)	176	14 (187 ms)
200		191		183	
200		195		190	15 (200 ms)
200		198		197	
200		202	16 (213 ms)	203	16 (213 ms)
200		205		210	
200		209		217	17 (227 ms)
200		212		224	
200		216	17 (267 ms)	231	18 (240 ms)
200		219		238	
200		222		245	19 (253 ms)
200		226		252	
200		229	18 (240 ms)	259	20 (267 ms)
200		233		266	
200		236		272	21 (280 ms)
200		240		279	
200		243	19 (253 ms)	286	22 (293 ms)
200		247		293	
200		250		300	23 (306 ms)

### 3.1 実験方法

#### 3.1.4 被験者

被験者は、実験に支障をきたさない聴力および視力（矯正視力）を有する大学生および大学院生 14 名（男性 7 名，女性 7 名）であった．被験者 14 名のうち 6 名は実験 1 にも参加していた．実験 1 と同様に，実験前にはいずれの被験者にも実験目的，内容については書面および口頭で説明し，その内容について十分に理解した上で実験に参加した．被験者は，自由意志のもとで実験に参加することを同意書への署名をもって同意を得た．

#### 3.1.5 実験条件

実験 2 は，感覚情報（聴覚/視覚）2 水準，先行刺激に合わせたタッピング（あり/なし）2 水準，ランダムネス（コンスタント/低ランダム/高ランダム）3 水準の組み合わせによる計 12 条件から構成された．

#### 3.1.6 手続き

被験者が机の上に設置されたキーボードの開始キー（右利き：F キー，左利き：J キー）を押すと，視覚条件では注視点を提示し，聴覚条件ではビープ音を提示することで事前にどちらの条件であるかを知らせた後，聴覚または視覚刺激パターンが 7500 ms 提示され，その間，先行刺激を聞く/見るのみか（タッピングなし条件）先行刺激に合わせてタッピング（タッピングあり条件）を行った．このタッピングあり/なし条件についてはブロックごとの条件とした．その後，時間間隔が規則的になるように 1 試行につき 15 回のタッピングを行った．タッピング課題は利き手の人差し指でキーボードの SPACE キーでタッピングを行った．タッピングの終了時にはビープ音が鳴り，続けて次の試行を行った．タッピングの間隔は，実験で提示される聴覚刺激パターンと同等の周期である 4 Hz（BPM=240）とし，タッピング間隔の指標として練習試行の前に提示した．タッピング課題ではこれと同程度のテンポでタッピングすることを教示した．被験者は実験でのブロック間で自由に休憩をとりながら実験を行った．図 2.9 に実験 1 の手続きを示す．実験中は提示された聴覚刺激以外の影響を排除す

### 3.1 実験方法

るために、カウントしたり、身体の一部を動かしたり、規則的なタッピングをするためにリズムを細かく刻んだりしないように教示した。

実験条件は感覚情報（聴覚/視覚）×先行刺激に合わせたタッピング（あり/なし）×ランダムネス（コンスタント、低ランダム、高ランダム）の計 12 条件を、各条件につき 16 試行ずつ、計 192 試行行った。この本試行の前には練習試行を 48 試行行った。順序効果为了避免のために刺激の提示はランダムな順とした。

本試行終了後、各条件の刺激を 1 試行分ずつランダムな順に提示し、実験中のタッピングの自己操作感について 7 件法で回答した。

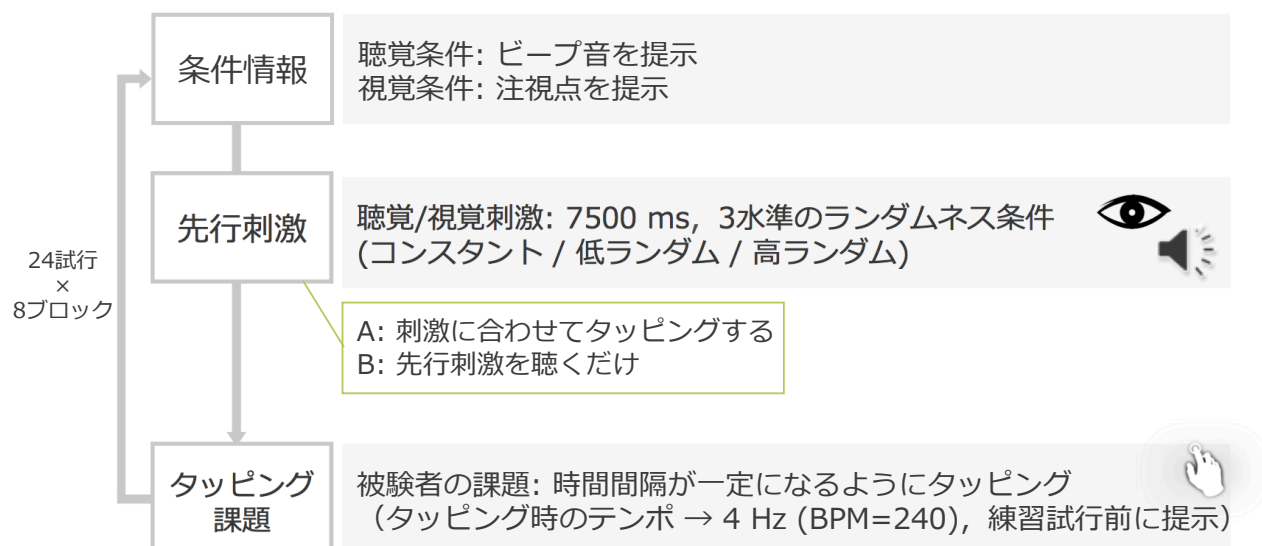


図 3.6 実験 2 の手続き

### 3.2 実験結果

タッピング課題から得られた，被験者 14 名のタッピング時間間隔の分散値は，実験 1 と同様の方法でデータを抽出し分析を行った．その結果を図 3.7 に示す．対応あり 3 要因分散分析の結果，いずれの条件間においても有意差は認められなかった．

タッピング課題時の自己操作感を主観評価したデータについては，各条件ごとに平均値を算出した．表 3.2, 3.3 に被験者ごとの条件間での自己操作感の主観評価値を示し，図 3.8 に各条件ごとに算出した被験者の平均値を示す．対応あり 3 要因分散分析の結果，ランダムネスの主効果 ( $F(2,26)=27.89, p<.001, \eta_G^2=0.19$ )，感覚情報とランダムネスの交互作用が有意であった ( $F(2,26)=7.82, p<.01, \eta_G^2=0.04$ )．Shaffer の方法による多重比較の結果，コンスタント条件と低ランダム条件間，コンスタント条件と高ランダム条件間に有意な差が認められ ( $p<.05$ )，先行刺激のコンスタント/ランダムの効果は聴覚/視覚で異なることが示された．このことにより，タッピングの直前に刺激を提示するだけでも自己操作感が低下することが示された．

さらに，各条件間で自己操作感とタッピングのランダムネスの間で相関分析を行った．その結果，視覚刺激-タッピングあり-高ランダム条件で弱い相関が認められたが ( $r=0.54, p<.05$ )，その他の条件では有意な相関が認められなかった．各条件におけるランダムネスと自己操作感の散布図については図 3.9 から図 3.12 に示す．

### 3.2 実験結果

表 3.2 タッピングあり条件における各条件ごとの自己操作感の主観評価値

	タッピングあり					
	聴覚			視覚		
	コンスタント	低ランダム	高ランダム	コンスタント	低ランダム	高ランダム
sub01	7	4	3	6	2	3
sub02	7	7	7	7	6	6
sub03	7	7	6	7	7	7
sub04	7	4	5	6	5	4
sub05	6	3	2	6	2	3
sub06	7	4	5	6	4	5
sub07	7	5	6	7	6	5
sub08	7	5	5	6	6	6
sub09	7	7	7	6	7	6
sub10	6	4	5	5	3	4
sub11	6	2	1	4	3	5
sub12	7	4	4	5	6	5
sub13	5	4	5	5	5	5
sub14	6	3	4	4	4	4
平均	6.57	4.50	4.64	5.71	4.71	4.86
標準偏差	0.65	1.56	1.74	0.99	1.73	1.17

## 3.2 実験結果

表 3.3 タッピングなし条件における各条件ごとの自己操作感の主観評価値

	タッピングなし					
	聴覚			視覚		
	コンスタント	低ランダム	高ランダム	コンスタント	低ランダム	高ランダム
sub01	7	3	4	3	3	3
sub02	7	7	6	7	7	7
sub03	7	6	6	7	7	7
sub04	7	5	4	7	5	4
sub05	6	4	2	7	5	4
sub06	6	3	2	6	5	4
sub07	7	6	7	6	7	6
sub08	7	6	6	6	6	6
sub09	6	3	3	7	7	6
sub10	5	6	4	5	3	2
sub11	6	1	1	6	6	4
sub12	7	6	5	6	6	6
sub13	5	4	4	3	3	4
sub14	5	3	2	5	4	4
平均	6.29	4.50	4.00	5.64	5.07	4.64
標準偏差	0.83	1.74	1.84	1.34	1.77	1.69

### 3.2 実験結果

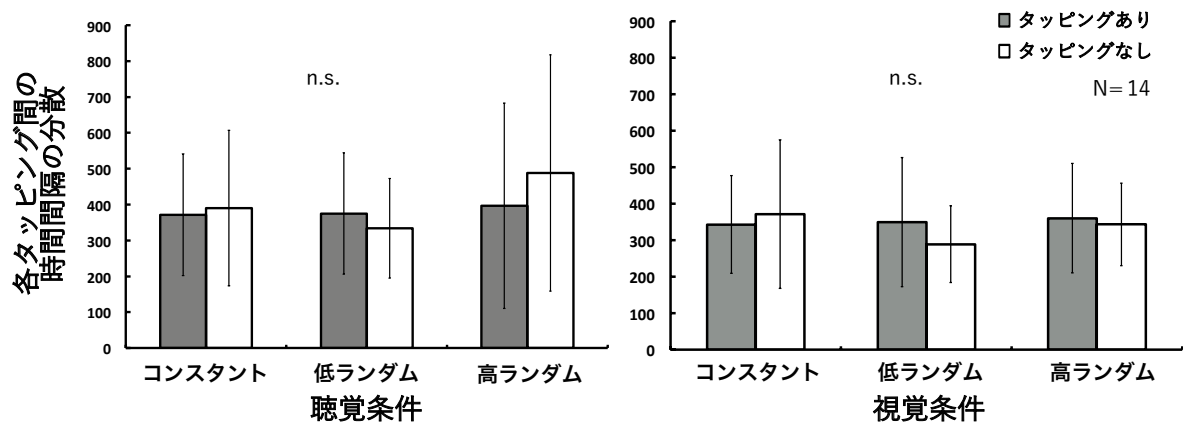


図 3.7 各タッピングにおける時間間隔の分散（実験 2）

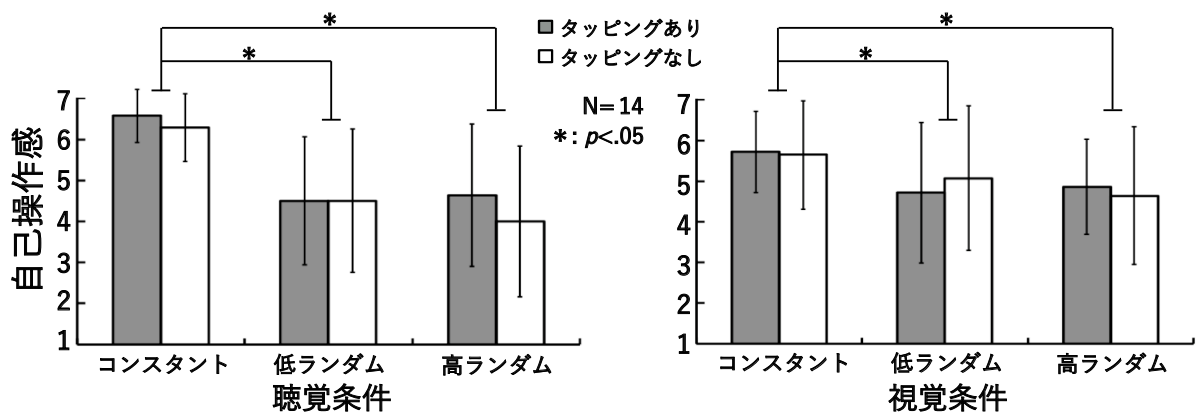


図 3.8 自己操作感の主観評価値（1: 自己操作感が小さい, 7: 自己操作感が大きい）

## 3.2 実験結果

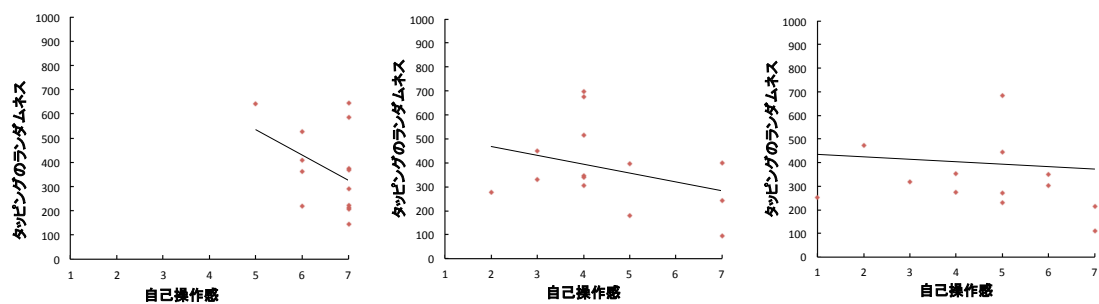


図 3.9 聴覚刺激-タッピングあり (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ランダム)

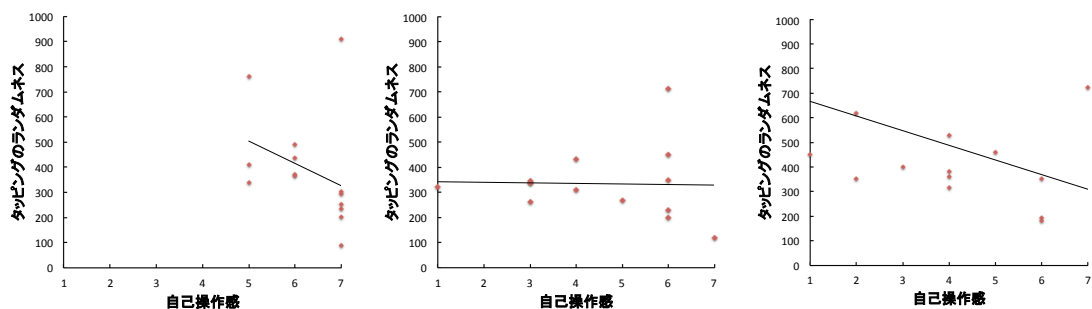


図 3.10 聴覚刺激-タッピングなし (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ランダム)

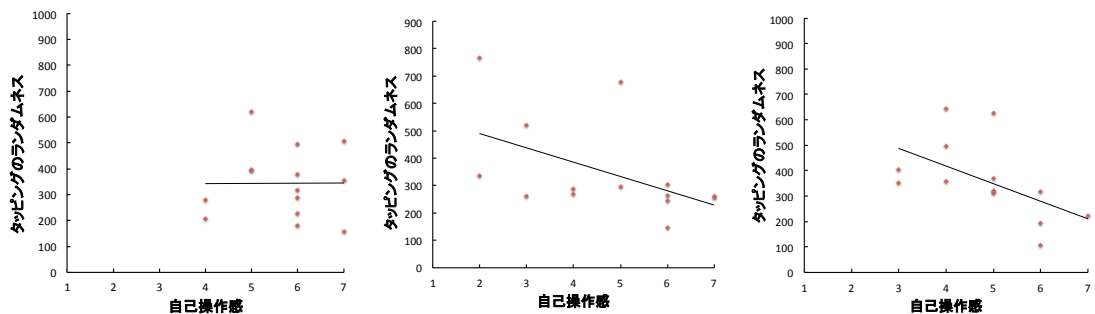


図 3.11 視覚刺激-タッピングあり (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ランダム)

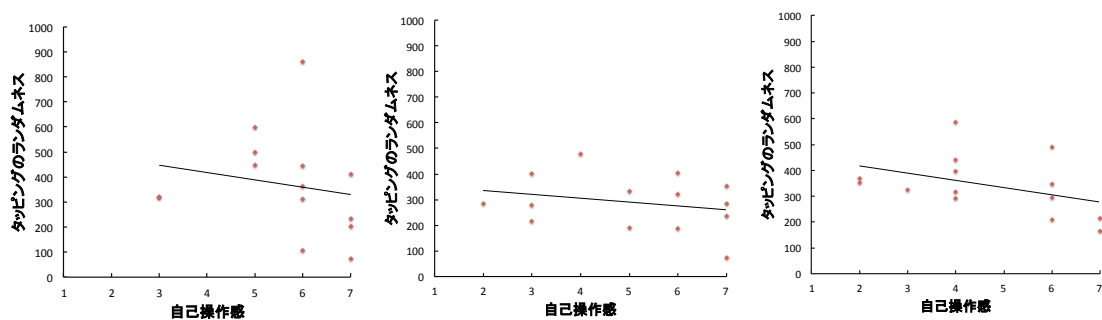


図 3.12 視覚刺激-タッピングなし (左: コンスタント, 中央: 低ランダム, 右: 高ランダム)



### 3.3 知覚情報 (聴覚/視覚) の効果についての考察

### 3.3 知覚情報 (聴覚/視覚) の効果についての考察

実験 1 では聴覚順応刺激による運動出力における正の残効がみられていたが、視覚条件を追加した実験 2 では、同様の刺激を用いた聴覚条件においてもランダムネスによる効果も見られなくなった。これは視覚刺激の高ランダム条件におけるタッピングの分散値がコンスタント条件と同程度であることに起因すると考えられる。視覚条件でのランダムネス条件に依存しない運動出力が、規則的なリズムの知覚表象を形成し、かつ、この効果が試行をまたいで影響を及ぼした可能性によるものだと考えられる。また、被験者 14 名中 6 名は実験 1 にも参加していたことの影響についても分析したが、聴覚条件において 6 名中 2 名はランダムネス条件毎に同様の傾向を示していたが、残り 4 名については実験 1 の傾向と異なっており、また、被験者間でも異なる結果であり個人差が大きいと考えられる。さらに、実験 1 においてタッピングの分散値が大きかった被験者は、実験 2 においては全体的にタッピングの分散値が低くなっていたため、規則的なタッピングの運動出力に対する練習効果があったと考えられる。

### 3.4 タッピング時の自己操作感についての考察

コンスタント条件では自己操作感が高く、低ランダム・高ランダム条件では自己操作感が低くなったが、これは高次の運動計画による運動意図と順応刺激によって形成されたリズム表象の一致/不一致が原因だと考えられる。コンスタント条件では外部刺激として規則的な時間パターンをもつ刺激が入力される。これにより、内的処理において等間隔の時間制御を必要とする運動に応用できるリズム表象が形成されたと考えられる。被験者には規則的なタッピングを課していたことから高次の運動計画において、一定の時間間隔になるように制御しなければならないという運動意図があり、外部刺激によって形成されたリズム表象は、この意図を妨害しないもしくは規則的なタッピング精度の向上に応用できる情報であったため、自己操作感は高くなったと考えられる。その一方で、ランダム条件では、不規則な時間間隔をもつパターンであったため、規則的なタッピングに応用できないもしくは阻害するリズム表

### 3.4 タッピング時の自己操作感についての考察

象が形成されたと考えられる．形成されたリズム表象と高次の運動計画と比較・参照した時に，このリズム表象が規則的なタッピングを妨害するノイズのような情報となり，ランダム条件においてはタッピング時の自己操作感が低下したと考えられる．図 3.13 にランダムな時間パターンによる自己操作感の変容過程のモデルを示す．

聴覚/視覚条件ともに自己操作感は低下したが，感覚情報とランダムネスでの交互作用がありコンスタント条件での聴覚/視覚条件間での自己操作感に違いが見られた．これは，時間パターンにおけるリズム表象は視覚に比べて聴覚のほうがより形成されやすく，視覚情報からでは上手くリズム表象が形成されなかったため，聴覚/視覚条件間での自己操作感に違いが見られたと考えられる．実際のタッピングのランダムネスとタッピング時の自己操作感の間に相関は見られなかったことから，課題での運動出力であるタッピングの感覚をフィードバックとして得た情報を規則的にタッピングできているかを判断していた結果ではなく，実際の運動出力には関係なく，自身の運動意図をと異なる妨害する刺激であったため，タッピング時のランダムネスには変化がなく，自己操作感のみが変容したと考えられる．

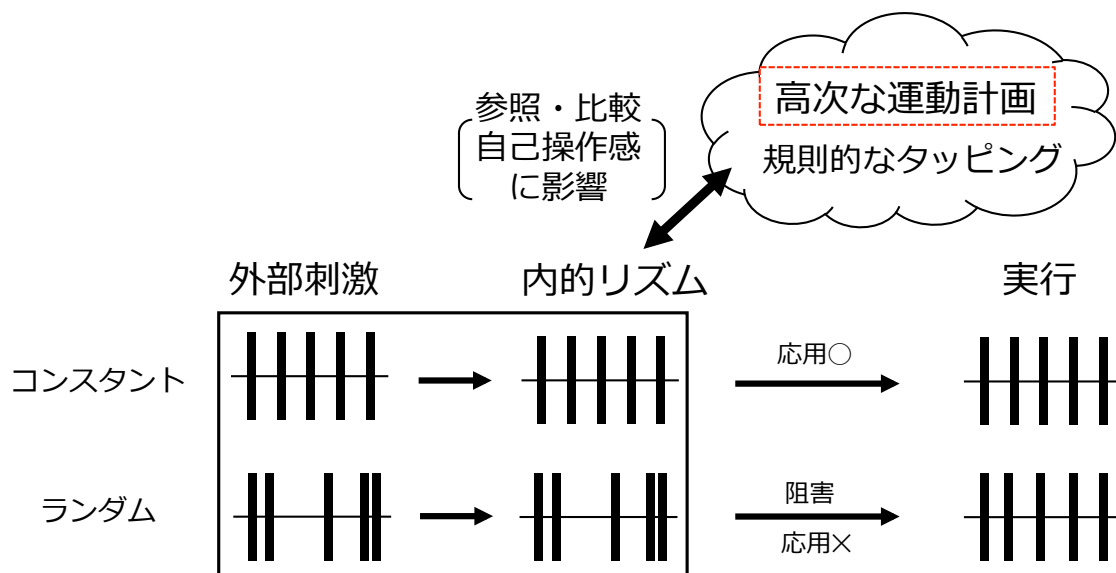


図 3.13 自己操作感の変容過程

## 第 4 章

# まとめ

本研究ではランダムネスの異なる時間パタンの先行刺激を提示した後に、規則的なタッピングを行う課題を課すことで、ランダムネスの異なる時間パタンの順応刺激が規則的な運動出力に与える影響について検討した。

実験 1 では、聴覚順応刺激による時間パタンのランダムネスの効果が運動出力に与える影響について検討し、刺激提示時に身体運動を同調させるタッピング（あり/なし）の効果についても検討した。その結果、聴覚順応下である実験 1 では、知覚的順応とは異なり、先行刺激のランダムネスに依存して出力パターンに正の残効が見られた。このことより、先行刺激のランダムネスが規則的な運動出力に利用されるリズム表象の形成に影響を及ぼすことが示唆された。また、この効果は刺激提示時に出力を伴わなくても生じることが示された。

実験 2 では、知覚情報（聴覚/視覚）の違いが運動出力に与える影響について検討し、同時に、ランダムなリズムへの順応後の運動出力時における主観的な身体知覚の変容を検討するため、タッピング時の自己操作感についても検討した。その結果、聴覚/視覚ともに有意な順応の効果は認められなかったが、コンスタント/ランダム条件間に自己操作感の違いが見られた。このことから、刺激のコンスタント/ランダムによる違いは自己操作感に影響を及ぼすことが示された。また、タッピング時の自己操作感と実際のタッピングのランダムネスで相関がみられなかったことから、運動意図と入力情報から形成されたりリズム表象との一致/不一致によって自己操作感が変容することが示唆された。

## 4.1 今後の課題

### 4.1 今後の課題

本節では今後、検討すべき事項について述べる。

#### 4.1.1 先行刺激提示なし条件の追加

本実験では、統制条件である先行刺激なし条件を設定しなかったが、これは、先行刺激あり条件では、タッピングの直前に提示される先行刺激が規則的なタッピングのテンポの指標となり、指定されたテンポでタッピングすることは容易だが、先行刺激なし条件では直前にタッピングのテンポの指標がなく、また、そのテンポによってもタッピング間隔のゆらぎの大きさが変わると言われており、単純に比較出来ないと考えたためである。しかし、直接的なテンポの指標となるのはコンスタント条件のみであり、練習試行の前にタッピングのテンポの指標を提示しているため、タッピングの直前に指標がなくても同等のテンポでタッピングできていたランダム条件と同じく、先行刺激なし条件を設定しても問題なく計測できたと考えられる。したがって、今後の課題として統制条件として先行刺激なし条件を追加し、先行刺激による効果を比較・検討する必要がある。

#### 4.1.2 音楽経験者と非経験者での群別の検討

実験被験者の募集に際して特に条件を定めていなかったが、吹奏楽部や軽音楽部といった普段から時間間隔を制御することに関してトレーニングを積んでいる音楽経験者が多かった。音楽経験者の中でも特に、ピアノ演奏能力が高い被験者は非熟練者や非音楽奏者よりも等間隔タッピングにおいてゆらぎが小さく正確ことが報告されており [23]、本研究での実験結果に大きく関わる部分であったと考えられる。そのため、音楽経験の有無に関しての事前アンケート調査を実施し、ピアノ経験者、音楽経験者と非音楽経験者の群に分けて検討する必要がある。

# 謝辞

本研究にあたり直接のご指導を戴いた，高知工科大学情報学群准教授 繁桝博昭先生に深謝の意を表します．副査として多くのご助言を戴きました，同学群教授 福本昌弘先生，並びに，同学群准教授 門田宏先生に深謝の意を表します．実験に際して，快く被験者を引き受けてくださいました繁桝研究室ならびに同サークル，同期の皆様に感謝の意を表します．

## 参考文献

- [1] Yamada, Y., Kawabe, T., Miyazaki, M. Pattern randomness aftereffect. Scientific Reports. 2013, Vol.3, No.2906, p.1-8
- [2] 西村朱子, 繁樹博昭. ランダムなリズムへの順応が時間パターン知覚および運動出力に及ぼす影響. 基礎心理学研究. 2018, Vol.36, No.2 (大会発表要旨)
- [3] 乾敏郎. 知覚と運動. 東京大学出版会, p.1-13, 1995
- [4] Drake, C., Penel, A., Bigand, E. Tapping in time with mechanically and expressively performed music. Music Perception: An Interdisciplinary Journal. 2000, Vol.18, No.1, p.1-23
- [5] Hattori, Y., Tomonaga, M., Matsuzawa, T. Spontaneous synchronized tapping to an auditory rhythm in a chimpanzee. Scientific reports, 2013, Vol.3, No.1566
- [6] 林明人, 大越教夫. パーキンソン病における歩行とリズム 音リズム刺激の臨床応用. 総合リハビリテーション, 2004, Vol.32, No.9, p.847-851
- [7] 伊藤 正憲, 高橋 優基, 藤原 聡, 嘉戸 直樹, 鈴木 俊明. リズム刺激によるペーシングと指タッピングの同調がその後の運動リズムに及ぼす影響 -2 秒間隔の運動による検討-. 2015, Vol.42, No.2 (第 50 回日本理学療法学会大会 抄録集)
- [8] Barlow, H. B. A theory about the functional role and synaptic mechanism of visual after-effects. Vision: Coding and Efficiency, 1990, p.363-375
- [9] Wainwright, M. J. Visual adaptation as optimal information transmission. Vision Research, 1999, Vol.39, No.23, p.3960-3974
- [10] Hood, J. D. Studies in auditory fatigue and adaptation. Acta oto-laryngologica, 1950, Vol.92, No.1
- [11] Cheatham, P. G., & White, C. T. Temporal numerosity: III. Auditory perception of number. Journal of Experimental Psychology, 1954, Vol.47, No.6, p.425

## 参考文献

- [12] Warren, W. S., Rabitz, H., & Dahleh, M. Coherent control of quantum dynamics: the dream is alive. *Science*, 1993, Vol.259, No.5101, p.1581-1589
- [13] ten Hoopen, G., & Vos, J. Attention switching and patterns of sound locations in counting clicks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1981, Vol.7, No.2, p.342
- [14] Gibbon, J. Scalar expectancy theory and weber  
UTF02BCs law in animal timing. *Psychological Review*, 1977, Vol.84, No.3, p.279-325
- [15] 黒田剛士, 小野史典, 門田宏, 特集 こころの時間学の未来 時間とリズムをつなぐ注意のダイナミクス 2017, Vol.69, No.11, p.1195-1202
- [16] P. Haggard, M. Tsakiris. The experience of agency. *Current Directions in Psychological Science*, 2009, Vol.18, No.4, p. 242-246
- [17] Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., Frith, C. D. Abnormalities in the awareness of action. *Trends in cognitive sciences*, 2002, Vol.6, No.6, p.237-242
- [18] Sidarus, N., Haggard, P. Difficult action decisions reduce the sense of agency: A study using the Eriksen flanker task. *Acta psychologica*, 2016, vol.166, p.1-11.
- [19] Brainard, D.H. The Psychophysics Toolbox, *Spatial Vision*, 1997, Vol.10, No.4, p.443-446
- [20] Pelli, D.G. The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies, *Spatial Vision*, 1997, Vol.10, No.4, p.437-442
- [21] Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R., & Broussard, C. What's new in Psychtoolbox-3, *Perception*, 2007, Vol.36, No.14, p.1-16
- [22] 井関龍太: ANOVA 君, <http://riseki.php.xdomain.jp/index.php?ANOVA%E5%90%9B>  
(最終閲覧日: 2018-01-31)
- [23] 山田真司, 井村 和孝, 新井裕子, 小田満理子, 西村 英樹, 音楽演奏者の時間的制御能力について情報処理学会研究報告音楽情報科学, 1995, Vol.46, p.21-28