研　究

聴覚マスキングによる時間知覚の妨害

楠本裕亮†，中園嘉巳
野澤昭雄，井出英人

要旨

健常被験者6名は，あるインターバルを持って呈示される2度のブザー音を片側の耳から聞き，2度目のブザー音呈示後に同じインターバルで，右手あるいは左手の示指により1度だけボタンを押すように指示された．ボタンが押された時刻と2度目のブザー音呈示時刻を測定し，その時間間隔を被験者の予測時間として求めた．インターバルに対する予測時間の当てはまり尺度（決定係数）を用いて予測精度を評価した．結果，ブザー音が呈示される側（右耳・左耳）によって予測精度に違いは認められなかった．ただし，マスキング音を片側の聴覚に与えた場合，右手ボタン押し・左の聴覚へマスキング音を与えたときのみ，常に予測精度を有意に低下させた．このことは，マスキング音がインターバルの記憶にラテラリティを持って干渉をすることを意味する．すなわち，聴覚による時間間隔の記憶，つまり時間知覚に関するワーキングメモリ，の機能局在を示唆する．

1．はじめに

将来，少子高齢化社会を迎えるにあたり，介護支援ロボットやレスキューロボットなどが，人間の生活の中に溶け込んでいくことが予想される．その際，人間とロボットが間を合わせ，予測的にタイミングを調整していくことで，柔軟性があり，きめ細やかな一連の協調行動が実現できる．例えば，介護支援ロボットの場合，タイミングや間が合うことによって，被介護者の筋緊張の減少，過度の注意集中の解消，運動要素間の協応などが行える．逆に，タイミングが極度に乱された状態が続くと，不快やストレスを生じることもある．

このような人間と機械との協調行動において実現の要となるのは，人間の時間間隔（間）の知覚およびタイミング制御の特性であり，それらがもたらされるメカニズムの解明である．

周期的に繰り返される音や光などにより時間間隔を持つ刺激を呈示した場合，人間はその刺激に同期して手拍子や刺激の等間隔性と被験者の指の運動を同期させるタッピング課題などを行うことができる．これらのことから，我々の体内において，時間の等間隔性に対する知覚が存在すると報告されている[1)]．しかし，時間間隔（間）を認識するメカニズムは，未だに明らかではない．

本研究では，時間間隔知覚のメカニズムを解明するために，時間間隔の予測に着目した．ある一定の時間間隔を持って呈示される２つのブザー音を用いて，左右それぞれの聴覚へ呈示された時間間隔の予測における予測精度を定量的に解析した．また，２つのブザー音に加えて片側（右側あるいは左側）の聴覚にマスキング音を与え，それらが時間間隔予測の予測精度に及ぼす影響について調べることにより，時間間隔知覚の機能局在性について検討した．

時間は，たとえ短い時間であっても，そのことが意識されたときには，もうすでに過去のものになっている．このことから，時間間隔知覚は必ず何らかの記憶の働きに依存していると考えざるを得ない．したがって，時間間隔の知覚がどのような記憶のメカニズムにより処理されているのかについても考察した．

2．実験方法

実験は，健常成人6名（22‐24歳）を被験者として行われた．被験者は静寂な実験室において着席し，片側（右側あるいは左側）のヘッドフォンからブザー音を呈示された．ブザー音の呈示には，音刺激装置（SSS-3200，日本光電）を用い，被験者の可聴閾値 +40dB の音圧で与えた．ブザー音

平成2004年8月5日受付　2005年3月15日受理
† 〒229-8558　神奈川県相模原市淵野辺 5-10-1
青山学院大学理工学部
E-mail : akio@biel.ee.aoyama.ac.jp
キーワード：インターバル，予測時間，聴覚マスキング，
時間知覚，ワーキングメモリ

の周波数は 1kHz，持続時間は 50ms とした．

2.1 ボタン押し反応動作

被験者は，1 回のブザー音を片側のヘッドフォンから呈示された直後，できるだけ速くにボタンを押すように指示された．ボタン押し動作は，右手あるいは左手の示指・第３関節の軽い屈曲によって実行される．ブザー音を聞いてからボタン押し動作が遂行されるまでの時間（反応時間）を測定した．

2.2 試行のプロトコル

（1）ブザー音による時間間隔知覚

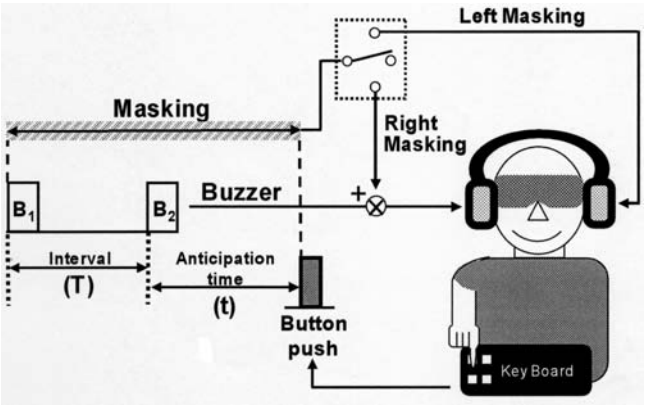


図 1　試行プロトコル
Fig.1　Protocol of trial.

1 回の試行は，一定時間間隔（T：interval）を持った２つのブザー音（B_1 - B_2）で構成されたインターバルの呈示とボタン押し動作で成り立っている（図 1）．被験者は２回のブザー音が片側のヘッドフォンから呈示され，そのブザー音のインターバルにもとづいて２回目のブザー音呈示後に等時間間隔を予測して，右手あるいは左手の示指によりボタンを押すことを指示された．ここで，試行ごとに呈示するインターバルは，500 ～ 4000ms を 100ms 刻みに変化させ，その順序はランダムになるように設定された．被験者の疲れを考慮し，行なう試行は 1 日 1 回のみとした．また，被験者は予備実験などを通じて，試行のプロトコルについては十分理解していた．ただし，頭の中で数を数えたり，体の一部を使ってリズムをとったりしてタイミングを計ることは禁止した．

（2）ブザー音＋マスキング音による時間間隔知覚

上記プロトコル中で，1 回目のブザー音呈示からボタン押しを行うまでの間，片側（右側・左側）のヘッドフォンからマスキング音を与えた．マスキング音は，疑似白色ノイズを用い，音圧は被験者の可聴閾値＋ 40dB とした．各被験者は，マスキング音を呈示した 4 種類の試行×（右手･左手），計 8 試行の課題が課された．以下に，4 種類の試行を示す．

1) 右の聴覚ヘブザー音呈示＋右側マスキング
2) 右の聴覚ヘブザー音呈示＋左側マスキング
3) 左の聴覚ヘブザー音呈示＋右側マスキング
4) 左の聴覚ヘブザー音呈示＋左側マスキング

2.3 計測システム

本実験用のプログラムは C 言語を用いて記述し，パーソナルコンピュータよりパラレルポートを介して接続した音刺激装置を制御した．ボタンが押された時刻と２回目のブザー音呈示時刻を計測し，差分を予測時間（t：anticipation time）として求めた．インターバル（T）と予測時間（t）は，1 ms の精度で計測された．

2.4 計算と統計処理

予測時間 (t) とインターバル (T) の差が予測誤差 (Δ t) として計算された．真の値 (インターバル) に対する予測時間の当てはまり尺度，つまり予測精度を定量的に示す指標として決定係数（Coefficient of determination:R^2）が用いられた．各被験者から得られた決定係数は，その変化が微小であるため間隔尺度とみなし，平均値と標準偏差が求められた．さらに，マスキング音を呈示した試行の決定係数は，各コントロールの決定係数と差分をとり，マスキング音が時間間隔の予測精度に及ぼす影響について検討した．有意検定には，分散分析 (2-way ANOVA) を用い，危険率が 5％以下の場合を統計的有意と判定した．

3．結果

3.1 反応時間

被験者ごとに計 36 回の反応時間を計測し，最大・最小のそれぞれ 3 回を偶然誤差として除き，30 回の測定値の平均値と標準偏差を算出した．結果，右手示指における反応時間は 245 ± 9.94ms，左手示指における反応時間は 240 ± 16.3ms であった．

3.2 右手・左手（示指）における予測時間

呈示されたインターバルに対する予測時間の測定結果の典型例を示す (図 2)．図は横軸がインターバル (T)，縦軸が予測時間 (t) を示しており，直線は予測時間の真の値を示す．また図中に，各試行の予測精度を定量的に評価するために，真の値（インターバル）に対する予測時間の当てはまり尺度を示す指標として用いた「決定係数」を算出した結果を示す．右手示指ボタン押し・左の聴覚ヘブザー音呈示の試行において決定係数は 0.982 となり最大，左手示指ボタン押し・左の聴覚ヘブザー音呈示の試行において決定係数は 0.937 となり最小であった．全被験者の決定係数の平均値 (N=6) は，右手示指ボタン押しの場合．右の聴覚ヘブザー音呈示 0.882，左の聴覚ヘブザー音呈示 0.885 であった．左手示指ボタン押しの場合．右の聴覚ヘブザー音呈示 0.889，左の聴覚ヘブザー音呈示 0.878 であった．ここで，各試行で得られた決定係数について，ボタン押しを行なう手（右手示

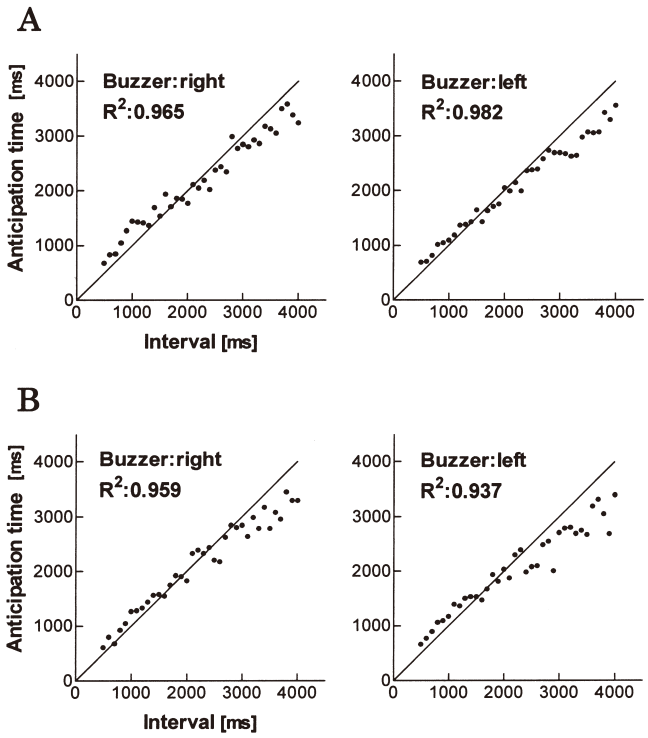


図 2　予測時間の測定結果
A：右手示指ボタン押し，
B：左手示指ボタン押し
Fig.2　Typical example of anticipation time measurement.
A：Right finger button-pushing.
B：Left finger button- pushing.

指・左手示指）またはブザー音を呈示した側（右側・左側）による差があるといえるか検証するために 2 元配置の分散分析をおこなったところ，有意差は認められなかった．また，各被験者の決定係数により，時間間隔の予測精度にばらつきがあることが示された．

呈示するインターバルが長くなるにつれて，予測時間のばらつきは拡大した．

3.3　マスキング音を与えた試行の予測精度

マスキング音を与えた 8 試行により得られた予測時間から，それぞれ決定係数を算出した．ここで，本実験の目的は，マスキング音が時間間隔の予測精度に及ぼす影響をみることである．よって，ブザー音呈示にマスキング音を与えた試行の決定係数とブザー音呈示のみの試行（コントロール）の決定係数の差分をとり，その差分値について評価および解析した．差分をとった決定係数の平均値 (N=6) を示す (表 1).

右手示指ボタン押しの場合．右の聴覚へブザー音呈示した試行の差分値は，右側マスキング 0.004，左側マスキング -0.051 であった．つまり，マスキング音を与えた側によって差分値に大きな差異が生じた．左の聴覚へブザー音を呈示した試行の差分値は，右側マスキング 0.003，左側マスキング -0.038 であった．まとめると，右手示指ボタン押しの場合，ブザー音を呈示した側に関わらず，左の聴覚へマスキング音を与えたときにコントロールに対して決定係数が大きく減少するということである．左手示指ボタン押しの場合，差分値のコントロールとの差異は，それぞれの試行で 0.01 程度であった．

表 1　決定係数の差分 (平均値：N=6)
A：右手示指ボタン押し，B：左手示指ボタン押し
Table 1　Differential of coefficient of determination (Mean：N=6).
A：Right finger button-pushing.
B：Left finger button- pushing.

A

Buzzer	Right		Left	
Masking	Right	Left	Right	Left
	0.004	−0.051	0.003	−0.038

B

Buzzer	Right		Left	
Masking	Right	Left	Right	Left
	−0.013	0.002	0.011	−0.013

各被験者の差分値の分散をとり，右手・左手それぞれについてブザー音を呈示した側（右側・左側）またはマスキング音を与えた側（右側・左側）による差があるといえるか検証するために 2 元配置の分散分析（2-way ANOVE）を行なった結果を示す（表 2）．右手示指ボタン押しの場合，マスキング音を与えた側による有意差（$p<0.05$, $F=7.74$）が認

表 2　2 元配置分散分析表
A：右手示指ボタン押し，B：左手示指ボタン押し
Table 2　Analysis of variance for two factors.
A：Right finger button-pushing.
B：Left finger button- pushing.

A

Source	df	Sum of squares	Mean square	F
Total	23	0.0489		
Buzzer	1	0.0002	0.0002	0.1264
Masking	1	0.0136	0.0136	7.7414 *
Error	20	0.0351	0.0018	

$F_{0.05(1,20)}=4.35$

B

Source	df	Sum of squares	Mean square	F
Total	23	0.0211		
Buzzer	1	0.0001	0.0001	0.1061
Masking	1	0.0001	0.0001	0.1095
Error	20	0.0209	0.0010	

$F_{0.05(1,20)}=4.35$

められた．

このことは，左の聴覚へ与えたマスキング音が決定係数を減少させるつまり，時間間隔の予測精度を減少させるということを意味する．

4．考察

4.1 時間知覚における運動系のラテラリティ

右手・左手の反応時間を計測した結果，左右の手の反応動作に大きな差は示されなかった．利き手側の反応速度優位性が見られなかった理由として，ボタン押しという課題が簡易であり，容易に好成績を得られるために，左右の手による差が表れなかったことが考えられる．また，時間間隔予測により計測した予測時間の精度においても，ボタン押しを行なう手によって，有意な差は示されなかった．よって今回の時間間隔知覚に，運動系のラテラリティは影響していないことが明らかとなった．

また，ブザー音を呈示する側（右耳・左耳）によって時間間隔の予測精度に差はなかったということは，右脳・左脳それぞれに同一の精度を持った時間間隔知覚を行なうシステムが存在するということと，一つの時間間隔知覚システムが片側の脳に局在することの両方の可能性が示唆される．

4.2 時間間隔知覚における作業記憶の役割

ある一定の時間間隔を知覚したときには，もうすでに過去のものであるように，時間間隔の知覚は記憶に依存している．記憶は，情報が保持される時間的な長さの違いにより，長期記憶と短期記憶に分類される[2]．また，短期記憶の中でも情報の処理システムの違いにより，感覚記憶（Sensory memory），瞬時記憶 (Moment memory)，作業記憶 (Working memory) など，いくつかに分類されている．受け取った刺激をそのままの形で短期間保存する感覚記憶については，感覚モダリティにより情報の伝達経路が異なる．しかし，時間間隔知覚は刺激のモダリティに関係なく，視覚的刺激でも聴覚的刺激の元でも同じように成立している．さらに，ブザー音とブザー音の間隔といった，実際には刺激がないところにも時間を感じる．つまり，時間間隔知覚はさまざまな感覚モダリティにおける，経路以外の持続，継起，変化の側面の抽出と統合過程に基づいている[3]．このことは，時間間隔知覚に能動的な記憶である作業記憶が用いられていることを示している．

これまで，作業記憶モデルと時間情報処理の関係について直接的に検討した研究はあまり見られない．しかし，二重課題研究では，あらゆる課題との間に干渉が見られることから，時間情報処理は作業記憶使用を伴う処理を行なうことが指摘されている[4]．

本研究で行なった時間間隔予測は，被験者に対して 2 回のブザー音によりインターバルを 1 度だけ呈示した．受け取ったインターバルは，記憶の強化を受けずに認知処理を行うことから作業記憶の中でも感覚記憶により近い部分に属すると考えることができる．

4.3 時間間隔知覚の機能局在性

表 2 に示したように，左手示指ボタン押しの場合，マスキング音を与える側に関わらず，どの試行も時間間隔予測の予測精度にコントロールと有意な差は示されなかった．つまり，時間間隔の知覚及び記憶はマスキング音により妨害されなかったということである．

右手示指ボタン押しの場合，インターバルを呈示する側に関わらず，左の聴覚へマスキング音を与えることにより，予測精度は有意に減少した．これらの成績がもたらされるプロセスは，以下のように説明される（図３）．左または右の聴覚から入力されたインターバルは，知覚処理を行なう作業記憶に保持され，その後，マスキング音の妨害作用を受ける．そのため，マスキング音を右の聴覚に与えた場合は妨害作用を受けず，左の聴覚に与えた場合のみ妨害作用を受ける．したがって，マスキング音の及ぼす影響にラテラリティが示される．このことは，時間間隔知覚に関する作業記憶の機能局在性を支持し，左の聴覚へ入力された情報の大部分が伝わるとされる右脳において，時間間隔知覚に関する作業記憶が存在するものと考えることが出来る．

左手示指ボタン押しの場合，マスキング音を右脳に直接伝わる側に聞かせても，時間間隔知覚に妨害作用は起こらない．このことは，右脳における時間間隔知覚に関する作業記憶が，右脳の運動野によって制御される指の運動と同

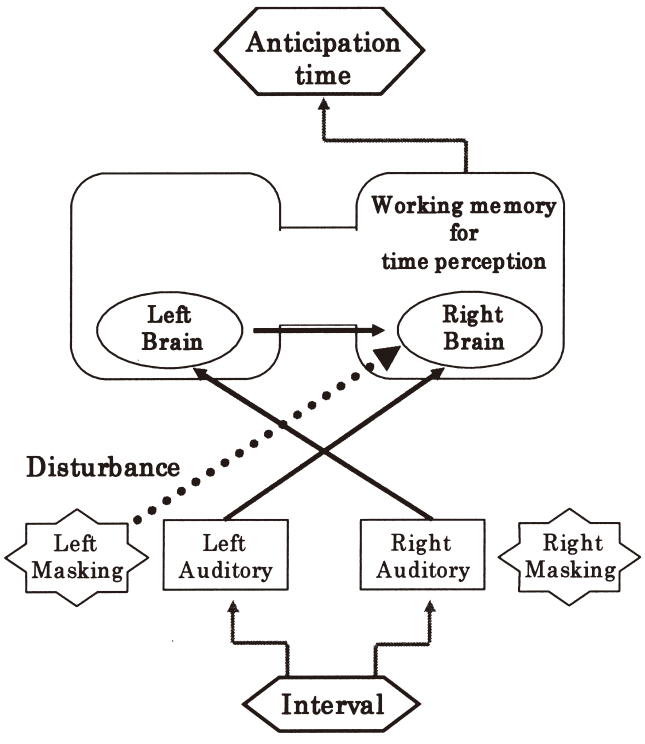


図 3　予測時間の形成モデル
Fig.3　A model for anticipation time evaluation.

期して機能することによって，妨害作用を受けないより強い保持力を持った記憶になっていたためと考えられる．

近年，盛んに研究が行われているワーキングメモリは，前頭前野を含めて，広範囲の脳内領域が関与し，分散協調型の脳内ネットワークにより成り立っていると考えられてきた[5]．本研究では，それらの中には処理されるタスクによっては機能局在性を示す場合がある，つまり，一部のタスクに対しては，そのタスク遂行のための中核となる記憶が，脳内の限定部分に特化して存在する場合があることが示された．

ヒトの知覚および記憶にラテラリティが示されたことは，将来的な展望として，ロボットとの情報伝達や協調行動を行なう際に，人間工学上安全で効率的なシステム実現の一助になると期待される．

参考文献

1) 中園嘉巳，田中久弥，井出英人： タッピング法による予測動作時間精度の検出，バイオメカニズム学会誌，27(1)，23-28(2003).
2) 伊東裕司： 記憶と学習の認知心理学，市川信一，渡邊正孝，酒井邦嘉，安西祐一郎：認知科学５　記憶と学習，1-43，岩波書店 (1994).
3) 神宮英夫： 時間知覚，松田文子，調枝孝治，甲村和三，山崎勝之，平伸二 (編)： 心理的時間，35-83，北大路書房 (1996).
4) 篠原一光： 時間評価における注意資源と作動記憶の役割，Japanese Psychological Review, 45(2)，195-209(2002).
5) 苧阪直行： 脳とワーキングメモリ，1-49，京都大学学術出版会 (2000).



楠本　裕亮（くすもと　ゆうすけ）
2003 年青山学院大学理工学部電気電子工学科卒業．現在，同大学大学院理工学研究科博士前期課程在籍．

中園　嘉巳（なかぞの　よしみ）
1983 年北海道大学大学院工学研究科修士課程修了 (生体工学専攻)．生体計測，神経生理学の研究に従事．山形大学工学部，札幌医科大学医学部助手，青山学院大学理工学部助教授を経て現在，同教授．医博．

野澤　昭雄（のざわ　あきお）
1997 年青山学院大学大学院理工学研究科博士前期過程修了 (電気電子工学専攻)．現在，青山学院大学理工学部電気電子工学科助手．

井出　英人（いで　ひでと）
1970 年工学院大学大学院工学研究科修士課程修了 (電気工学専攻)．1986 年 UCLA 脳研究所客員教授．感覚の計測，感覚代行の研究に従事．現在，青山学院大学理工学部教授．

Disturbance of time perception caused by auditory masking

Yusuke KUSUMOTO †，Yosimi NAKAZONO，Akio NOZAWA and Hideto IDE

† Science and Engineering, Aoyama Gakuin University
5-10-1, Fuchinobe,Sagamihara, Kanagawa

Abstract

Subjects (N=6) were asked to push a key (button) and time an interval after they listening to a sequence of sound (two buzzers) at one interval from a side (left or right) of headphone speakers. The time between the onset of the last buzzer and that of the key tap was defined as an anticipation time. The coefficient of determination between the interval and the anticipation time was calculated to evaluate accuracy of the anticipation. As a result, there was no laterality in the anticipation accuracy. However, when auditory masking was added to either side of headphone speakers, only the left side masking significantly reduced the anticipation accuracy. Thus, auditory masking caused disturbances with laterality to interval memory. These results suggest that the auditory interval memory, i.e. a working memory for the time perception is lateralized.

Key word : interval, anticipation time, auditory masking, time perception, working memory