人間の視聴覚情報の並列処理における反応時間特性*

呉 景龍[†]・水原 啓暁[‡]・西川 禎一[§]

Characteristic of Reaction Time in Parallel Information Processing of Human Visual and Auditory System*

Jing-Long WU[†], Hiroaki MIZUHARA[‡] and Yoshikazu NISHIKAWA[§]

In previous studies of human information processing, the visual separate system and the auditory separate system have been frequently studied. However, human related characteristic between visual and auditory systems has not been investigated substantially. If the mechanisms of human visual and auditory parallel information processing are elucidated, the finding will contribute to improving technical systems. In our previous studies, human related characteristic between visual search and speech perception is studied. The results showed the mutual effect between visual information processing and auditory information processing in the visual and the auditory parallel information processing. However, to clarify the cause of many car accidents lies in the use of car-phone on driving, it is necessary to use the same kind of visual and auditory stimuli in psychological experiments. In this paper, characteristic of reaction time in parallel information processing of human visual and auditory system is measured by using the same kind of stimuli. The experimental results show the factors that influence the visual and the auditory reaction time are the difficulty of the visual and the auditory stimuli and the timing of the visual and the auditory inputs. The experimental results also suggest that one of the causes of car accidents (to use car-phone while driving) is that the human visual information processing is affected by the auditory information.

1. はじめに

人間の視覚システムや聴覚システムは、非常に長い時間をかけて進化し、高い性能を有するに至った。しかしながら、このような人間の情報処理システムに比べて現在の技術システムの性能は、めざましい進歩を成し遂げてきたといえども、いまだに劣っているように思える [1]。また、携帯電話を使用中の交通事故の原因はまだ究明されていない。したがって、人間の視覚システムや聴覚シ

ステムのような高度な情報処理システムを構築する、または携帯電話による交通事故の原因を究明するためには、人間の情報処理メカニズムの解明を行い、これらの基礎データを技術システムに応用することが必要になると思われる。

人間の情報処理に関する研究は、視覚や聴覚などの単独のシステムについて、これまでに多くの研究が行われ、報告されてきた [1-10]。しかしながら、これらの単独システムよりも、より高度な情報処理システムであると考えられる人間の視覚システムと聴覚システムにおける並列情報処理に関する研究は、あまり報告されていない。そこで、我々は先行研究によりこのような視覚情報と聴覚情報の並列処理において、これらのシステムが相互に影響を及ぼしあっていることを証明するために、人間の視覚探索と音声知覚との関連特性について研究を行った [11-13]。その結果、視覚情報処理と聴覚情報処理の間で相互に影響を及ぼしあっていることはあきらかにされ、人間の聴覚からの情報が視覚情報処理に影響を及ぼすことが携帯電話の使用による交通事故の一因になる仮説を提案している。しかしながら、視覚情報処理と聴覚

* 原稿受付 2000年2月22日

[†] 香川大学 工学部 知能機械システム工学科 Department of Intelligent Mechanical Systems, Faculty of Engineering, Kagawa University; 2217-20 Hayashi-cho, Takamatsu city, Kagawa 761-0396, JAPAN

[‡] 山口大学 大学院 理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University; 2-16-1 Tokiwadai, Ube city, Yamaguchi 755-8611, JAPAN

[§] 大阪工業大学 学長室 Osaka Institute of Technology; 5-16-1 Ohmiya, Asahi-ku, Osaka 535-8585 JAPAN

Key Words: human visual system, human auditory system, human parallel information processing, bioinformatics, cognitive science.

情報処理との間の相互影響を定量的に検討するためには、視覚情報と聴覚情報として同種類の課題を用いる必要があると思われる。

本論文では、実験刺激は視覚および聴覚ともに暗算問題を用いることで、視聴覚情報処理間で相互に及ぼす影響を検討する。まず、先行研究 [11] の聴覚実験により構築された難易度関数を有する暗算問題を視覚刺激として用いることで、聴覚刺激の難易度関数の視覚実験に対する適応性を実証する。さらに、このようにして難易度の定量評価が可能になった暗算問題を、視覚情報および聴覚情報として人間に対して並列に入力する際の、難易度を变化させた条件と、視覚情報と聴覚情報の入力の同期性を变化させた条件について判断に要する時間（反応時間）を測定することで、人間の視聴覚情報の並列処理における反応時間特性を定量的に検討する。

2. 実験装置と実験刺激

2.1 実験装置

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。聴覚刺激は、サウンドボード (Sound Blaster Edutainment 16) が装着されているパーソナルコンピュータ (NEC PC-9821) を用いて作成され、ヘッドホン (VICTOR HP-S35) を通して被験者に呈示した。また、視覚刺激はパーソナルコンピュータにより生成され、CRT (NEC D151) を通して被験者に呈示した。本実験システムは二台のパーソナルコンピュータ間で RS-232C インターフェースにより相互通信することで、視覚刺激と聴覚刺激の同期呈示が可能になっている。また、被験者とパーソナルコンピュータは、被験者が反応キーを押すことにより通信が可能になっている。なお、すべての実験は暗室内で行われた。

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

2.2 実験刺激

本実験で用いる実験刺激は視覚および聴覚ともに、以下の式で表される加算に関する暗算問題を用いた。

$$A+B=, > \text{ or } < C \quad (1)$$

$$A = a_2 10^2 + a_1 10^1 + a_0 10^0 \quad (2)$$

$$B = b_2 10^2 + b_1 10^1 + b_0 10^0 \quad (3)$$

$$C = c_2 10^2 + c_1 10^1 + c_0 10^0 \quad (4)$$

(2)~(4) 式における $a_2 \sim a_0$, $b_2 \sim b_0$ および $c_2 \sim c_0$ は、0~9 で与えられる変数である。我々の先行研究 [11] において、Fig. 2(a) に示すタイムチャートにしたがって聴覚刺激として音声により暗算問題を呈示したときの、解答の正否を判断するのに要した反応時間を測定することにより、次式に示す聴覚刺激の難易度関数が構築されている。

$$DAS(n_{a2}, n_{a1}, n_{a0}, n_{b2}, n_{b1}, n_{b0}, l, m) = \{ (\alpha n_{a2} + \beta n_{a1} + \gamma n_{a0}) + (\alpha n_{b2} + \beta n_{b1} + \gamma n_{b0}) \} \times (\xi m + 1) + \zeta l \quad (5)$$

ここで、変数 $n_{a2} \sim n_{a0}$ および $n_{b2} \sim n_{b0}$ には、それぞれ $a_2 \sim a_0$ および $b_2 \sim b_0$ が存在するとき 1、存在しないとき 0 が与えられる。また、 l は暗算問題の 2 桁目に関する繰り上がりの有無を表現する変数であり、この繰り上がりが存在するとき 1、存在しないとき 0 が与えられる。 m は l と同様に 1 桁目に関する繰り上がりの有無を表現する変数である。ただし、 m に関しては l とは逆に繰り上がりが存在するとき 0、存在しないとき 1 が与えられる。係数 $\alpha, \beta, \gamma, \xi$ および ζ は、Fig. 2 に示すように聴覚反応時間の平均値と回帰直線との差を最小にするように決定され、 $\alpha = 5.37$, $\beta = 4.50$, $\gamma = 2.72$, $\xi = -0.19$ および $\zeta = 1.00$ で与えられる。

暗算問題の実験刺激とその難易度関数は筆者らの先行研究 [11] において詳細に述べられている。

(a) Definition of auditory reaction time

(b) Auditory reaction time as a function of the Difficulty of Auditory Stimuli (DAS) for subject (1) H.M, (2) K.K and (3) T.M (Wu et al., 1999)

Fig. 2 Auditory experiment as the mental arithmetic problem for addition

3. 聴覚実験の結果

2.2 で定義された暗算問題を実験刺激とした聴覚実験は筆者らの先行研究 [11] において行った。聴覚反応時間は Fig. 2(a) に定義されているように、暗算問題の音声呈示終了後から被験者の反応があるまでの時間である。本論文の実験との比較および視聴覚実験結果を解析するため、先行研究の聴覚実験の結果だけを Fig. 2(b) に示して、その概要を説明する。Fig. 2(b) の縦軸は聴覚反応時間 [msec] であり、横軸は (5) 式で定義された聴覚刺激の難易度 (*DAS*) 値である。Fig. 2(b) において、白丸は測定結果の平均値であり、上下に延びた直線は測定した聴覚反応時間の最大値と最小値を示したものである。図中の実線は反応時間の測定値と *DAS* 値を用いて最小自乗法により求めた回帰直線である。実験結果より、聴覚反応時間は *DAS* 値の上昇にともなって増加することがわかった。

4. 視覚実験

4.1 実験方法

視覚実験では、2.2 で示した聴覚刺激に対する難易度関数を構築するときに用いた暗算問題と同様の加算に関する暗算問題を、映像として被験者に呈示した。被験者は呈示された暗算問題の解答について、その正否の判断を行うように要求されている。たとえば、CRT 上に “25+86=111” (この場合は問題が正しいが、間違っている問題もある) なる暗算問題が呈示された場合、被験者は反応キーを用いることで、この課題に対して “正” または “否” なる回答を行う。

Fig. 3 に視覚実験刺激の 1 例と刺激呈示のタイムチャートを示す。測定は視覚刺激の呈示開始後から、被験者による反応キーを押した回答が出現するまでに要した時間について行い、これを視覚反応時間として定義した。視覚刺激として 2.2 で示した難易度値 *DAS* = 5.85, 7.29, 9.00 および 10.0 の暗算課題をランダムに呈示した。なお、ここでは聴覚刺激として暗算問題を呈示することにより構築された難易度関数 *DAS* により、視覚刺激の難易度 (*Difficulty of Visual Stimuli*) を表すことは可能であると考えている。視覚刺激は Fig. 3(a) に示されているように、視野角 $10^\circ \times 10^\circ$ のフレームの中央に、一文字のサイズを視野角 $1^\circ \times 0.5^\circ$ として呈示された。

4.2 実験結果および考察

視覚実験の測定結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 に示した横軸は、視覚刺激としての暗算問題の難易度 *DVS* (*Difficulty of Visual Stimuli*) であり、縦軸は視覚反応時間である。また、Fig. 4 中に示した各点は視覚反応時間の 80 回の測定結果の平均値である。なお、視覚反応時間の測定結果は、すべての被験者について 3 回の実験により得たものである。

ここでは聴覚実験により求められた暗算問題の難易度

Fig. 3 An example of visual stimuli (a) and time chart of visual experiment (b)

Fig. 4 Visual reaction time as a function of the *Difficulty of Visual Stimuli* (*DVS*) for subject (1) H.M., (2) K.K. and (3) T.M.

関数 *DAS* により、視覚刺激の難易度 *DVS* を表すことは可能であると考えている。そこで、横軸を聴覚実験により定義した暗算問題の難易度とした場合の反応時間が線形変化することを示すために、視覚反応時間の平均値と回帰直線との相関係数 R^2 値と聴覚実験により難易度関数 *DAS* を求めたときの回帰直線と聴覚反応時間との相関係数を Table 1 に示して比較する。

Table 1 に示したように、視覚実験における相関係数は、聴覚実験により求めた暗算問題の難易度関数を用いることにより、その難易度を表すことが可能であることを示している。つまり、聴覚実験により求めた難易度関数により視覚刺激の難易度 *DVS* を表すことは可能である。このことにより、聴覚刺激として暗算問題を被験者に呈示した場合と、視覚刺激として呈示した場合において、暗算問題における実験結果の解析は同様の方法を行うことが妥当であると思われる。そこで本研究では、聴覚刺激の難易度として *DAS*、視覚刺激の難易度として *DVS* と表記するものの、*DAS* および *DVS* ともに聴覚実験から得られた難易度値を用いることとした。

Fig. 2(b) および Fig. 4 に示すように、聴覚反応時間の平均値は 650 ~ 1700 [msec] であったのに対して、視覚反応時間の平均値は 876 ~ 2829 [msec] であり、本研究で定義した視覚反応時間および聴覚反応時間を用

Table 1 Correlation between the reaction time and the approximate calculated results by least square method (R^2)

Subject	Auditory Experiment	Visual Experiment
H.M.	0.916	0.937
K.K.	0.932	0.965
T.M.	0.918	0.960

いた場合、すべての被験者において視覚反応時間の方が聴覚反応時間よりも大きいことがわかる。また、視覚反応時間の平均値の回帰直線の傾きと聴覚反応時間の平均値の回帰直線の傾きを比較すると、聴覚反応時間の平均値の傾き（被験者 H.M. : 337, K.K. : 176, T.M. : 206 [msec/DAS]）よりも、視覚反応時間の平均値の傾き（被験者 H.M. : 357, K.K. : 415, T.M. : 383 [msec/DVS]）はすべての被験者において大きくなっている。視覚反応時間の方が聴覚反応時間より大きくなる現象は、以下の原因が考えられる。

まず、視覚情報処理と聴覚情報処理のメカニズムが異なることは考えられる。従来の研究 [14,15] より、反応時間特性は視覚情報処理と聴覚情報処理では異なり、光刺激に対する反応時間は音刺激に対する反応時間より長くなるとされている。このことも、視覚と聴覚の情報処理のメカニズムが異なることを示唆している。

また、本実験における聴覚反応時間と視覚反応時間の定義の違いである。聴覚実験では、Fig. 2(a) に示すように聴覚刺激は音声で呈示され、聴覚反応時間は音声呈示終了後から被験者による反応があるまでの時間と定義されている。一方、視覚実験では Fig. 3 に示すように視覚刺激は映像で呈示され、視覚反応時間は刺激呈示直後から被験者の反応があるまでの時間と定義されている。反応時間の定義方法の詳細に関しては、今後の研究で検討する予定である。

5. 視聴覚実験

5.1 実験方法

視聴覚実験における視覚刺激および聴覚刺激は、被験者に対して並列（同時）に呈示される。Fig. 5 に視聴覚実験のタイムチャートを示す。被験者は反応キーを用いて視覚刺激と聴覚刺激に対して“正”または“否”なる回答を同時に行う。聴覚反応時間および視覚反応時間は、それぞれ聴覚実験（Fig. 2(a)）および視覚実験（Fig. 3(b)）と同様であり、Fig. 5 に定義されている。実験課題についても視覚実験および聴覚実験と同様に暗算問題の正否に関するものを用いた。また、本研究で行った視聴覚実験では、一対の呈示する視覚刺激および聴覚刺激は異なるものを用いた。本実験では、Fig. 5 に示すように視覚刺激と聴覚刺激の呈示開始時間の差を Lag と定義し、視覚刺激が聴覚刺激より先に呈示されるときを正の値（ $+Lag$ ）、聴覚刺激が視覚刺激より先に呈示される場合

を負の値（ $-Lag$ ）とした。

Fig. 5 The time chart of visual and auditory experiment

5.2 実験結果および考察

5.2.1 刺激難易度変化にともなう反応時間特性

視聴覚間の相互作用の詳細を検討するために、視覚刺激と聴覚刺激の難易度をそれぞれ変化させたときの視覚反応時間と聴覚反応時間を測定した。この測定では、Fig. 5 に示した実験方法のなかで、特に Fig. 6 に示すように視覚刺激は聴覚刺激の呈示終了と同時に呈示され、 Lag は聴覚刺激の呈示時間に等しい負の値として表現される。したがって、本実験では呈示する聴覚刺激の難易度値 $DAS = 5.85$ のとき $Lag = -1540(\pm 120)$ [msec]、 $DAS = 9.00$ のとき $Lag = -3510(\pm 150)$ [msec]、 $DAS = 10.0$ のとき $Lag = -3970(\pm 320)$ [msec] となる。

被験者 H.M. の測定結果を Fig. 7 に示す。横軸は聴覚刺激の難易度値 DAS 、縦軸は視覚および聴覚の反応時間を示している。また、Fig. 7 に示した各点は、36 回の測定結果の平均値である。なお、視覚および聴覚の反応時間の測定結果は、4.2 で示した視覚反応時間と同様に 3 回の実験により得たものである。Fig. 7(1) ~ (4) は異なる DVS 値に対する測定結果である。これらの図に示されているように、聴覚刺激の難易度値 DAS を変化させることにより、視覚反応時間は上昇することがわかる (F-test, $p < 0.01$)。つまり、聴覚情報の難易度の上昇にともない視覚反応時間が上昇することは示唆される。他の被験者の結果も以上の特徴が見られた。

Fig. 6 The time chart in the measurement with varying difficulty of stimuli

つぎに、聴覚反応時間が視覚情報処理により受ける影響を調べるために、Fig. 7 に示した測定結果の横軸を視覚刺激の難易度値 DVS として Fig. 8 に再提示する。図の縦軸は Fig. 7 と同様に視覚および聴覚の反応時間を示している。すべての DAS の条件 (Fig. 8(1), (2), (3)) において、視覚刺激の難易度値 DVS の上昇

Fig. 7 Reaction time as a function of *DAS* for Subject H.M. *DVS* was set at the value of (1)5.85, (2)7.29, (3)9.00 or (4)10.0

Fig. 8 Reaction time as a function of *DVS* for Subject H.M. *DAS* was set the value of (1)5.85, (2)9.00 or (3)10.0

にともない被験者 H.M. の聴覚反応時間は有意な上昇を示した ($p < 0.01$). また、被験者 K.K. については、 $DAS = 10.0$ の条件について、被験者 T.M. については $DAS = 9.00, 10.0$ の条件について、聴覚反応時間の *DVS* の増加にともなう上昇がみとめられた ($p < 0.01$). このことは、聴覚反応時間が視覚刺激から及ぼされる影響は、聴覚刺激の難易度値 *DAS* と視覚刺激の難易度値 *DVS* の両方に依存することを示唆している。

5.2.2 刺激呈示同期性変化にともなう反応時間特性

5.2.1 では、視覚刺激は聴覚刺激の呈示終了と同時に呈示して、このときの視覚刺激と聴覚刺激の難易度をそれぞれ変化させることで視聴覚間の相互作用の詳細を検討した。ここでは、視覚刺激と聴覚刺激の呈示同期性 *Lag* を Fig. 5 に示したように、 $-7000 \sim +7000$ [msec] までランダムに変化させて呈示することにより、呈示同期性変化にともなう視聴覚間の相互作用の詳細について検討する。このとき、一対の視覚刺激および聴覚刺激の難易度値 *DVS* および *DAS* は同値 ($DVS = DAS$) となるように呈示し、 $DVS = DAS = 5.85, 8.29$ および 10.0 の暗算課題を用いた。ただし、本測定においても一対の視覚刺激および聴覚刺激は、その難易度値は同一と

するものの、呈示課題は異なるものを用いた。なお、視覚反応時間および聴覚反応時間は既述の測定と同定義とした。

Fig. 9 に被験者 H.M. の測定結果を示す。Fig. 9 に示した縦軸は既述の測定結果と同様に視覚および聴覚の反応時間を示している。また、横軸は Fig. 5 で定義した *Lag* で示してある。Fig. 9 中に示した各点は 30 回の測定結果の平均値である。なお、Fig. 9 に示した測定結果に関しても 3 回の実験により得たものである。

Fig. 9 に示した被験者 H.M. の視覚反応時間において、 $Lag = 0$ [msec]、つまり視覚刺激と聴覚刺激が同時に呈示された場合においては、視覚反応時間は $DAS = DVS = 5.85, 8.29$ および 10.0 のすべての条件に対して、*Lag* の変化にともなう有意な上昇を示した (F-test, $p < 0.01$)。さらに、 $DAS = DVS = 5.85$ の簡単な計算問題に対しては *Lag* の変化にともなう視覚反応時間の上昇は小さいが、難しい計算問題 ($DAS = DVS = 8.29, 10.0$) に対しては *Lag* の変化にともなう視覚反応時間の上昇は大きいことがわかった。これは他 2 名の被験者についても同様に有意な傾向を示した ($p < 0.01$)。つまり、視覚情報と聴覚情報が同時に入力された場合、視覚情報処理に要する時間は長くなることを示唆している。一方、聴覚反応時間については、すべての被験者について、有意な変化を示す *Lag* の値に個人差はあるものの、 $DAS = DVS = 5.85$ のとき *Lag* の変化にともなう聴覚反応時間の上昇はみとめられた ($p < 0.01$)。しかしながら、 $DAS = DVS = 5.85$ および 10.0 については、すべての被験者において *Lag* 変化にともなう聴覚反応時間の有意な上昇はみとめられなかった ($p > 0.05$)。つまり、聴覚反応時間の *Lag* 変化にともなう上昇は、視覚刺激の難易度値 *DVS* および聴覚刺激の難易度値 *DAS* が低い場合 ($DAS = DVS = 5.85$) のみ、変化することは示唆された。

Fig. 9 The visual and the auditory reaction time as a function of *Lag* for Subject H.M. Both of *DAS* and *DVS* were set at the value of (1)5.85, (2)8.29 or (3)10.0

6. 視聴覚情報並列処理の相互影響

以上の結果にもとづき、視覚反応時間および聴覚反応時間がそれぞれ聴覚刺激および視覚刺激に及ぼされる影響の定量評価を行うため、(6), (7) 式により反応時間の上昇比を求めて視覚反応時間および聴覚反応時間に生じた影響をそれぞれ Fig. 10 および Fig. 11 に示す。なお、Fig. 10(a) および Fig. 11(a) は 5.2.1 で行った刺激難易度変化にともなう反応時間特性の測定結果、Fig. 10(b) および Fig. 11(b) は 5.2.2 で行った刺激呈示同期性変化にともなう反応時間特性の測定結果にもとづき、(6), (7) 式により算出した結果である。

$$Visual = \frac{V_c - V_o}{V_o} \quad (6)$$

$$Auditory = \frac{A_c - A_o}{A_o} \quad (7)$$

ここで、 V_c および A_c はそれぞれ視聴覚実験における視覚反応時間および聴覚反応時間を示している。また、 V_o および A_o はそれぞれ聴覚刺激を呈示しない場合（視覚実験）の視覚反応時間および視覚刺激を呈示しない場合（聴覚実験）の聴覚反応時間を示している。

Fig. 10 The ratio of the visual reaction time of the visual and auditory concurrent to the visual reaction time of the visual only experiment as a function of (a) the DAS and DVS and (b) Lag for Subject H.M.

Fig. 10(a) に示したように、視覚刺激として視覚探索課題を用いた先行研究の結果 [11-13] と同様に、聴覚刺激の難易度 DAS の上昇にともない視覚反応時間の上昇量は有意な増大傾向を示した (F-test, $p < 0.01$)。また、聴覚刺激により視覚反応時間に及ぼされる影響は視覚刺激の難易度 DVS を変化させても単調変化しないことが

Fig. 11 The ratio of the auditory reaction time of the visual and auditory concurrent to the auditory reaction time of the auditory only experiment as a function of (a) the DAS and DVS and (b) Lag for Subject H.M.

わかった。これらの傾向は、個人差はあるもののすべての被験者に対してみとめられた。このことにより、視覚刺激と聴覚刺激が人間に対して並列に入力された場合、視覚反応時間は視覚刺激の難易度による影響が弱い、聴覚刺激の難易度による影響が強いことが明らかになった。一方、視覚刺激により聴覚反応時間に及ぼされる影響は、Fig. 11(a) に示したように視覚刺激の難易度 DVS の上昇にともなって有意な増加をすることがわかった ($p < 0.01$)。また、聴覚刺激の難易度 DAS の上昇にともなって有意に減少することもあきらかである ($p < 0.01$)。これらの傾向も、視覚反応時間に及ぼされる影響と同様に、すべての被験者に対してみとめられた ($p < 0.01$)。このことにより、聴覚刺激に現れる影響は聴覚刺激の難易度および視覚刺激の難易度の双方に依存していることが示唆された。

また、Fig. 10(b) に示したように、視覚反応時間は Lag の変化に依存して有意な変化をすることがわかる ($p < 0.01$)。同様にして、他の被験者についても Lag の変化にともなう視覚反応時間の有意な変化がみとめられた ($p < 0.01$)。また、このときの上昇は暗算問題の難易度が変化することにより変化することもあきらかである。つまり、視覚反応時間の上昇は、Fig. 10(a) に示された DAS の増加とともに、Lag の変化にも依存することがあきらかになった。一方、聴覚反応時間が視覚刺激から受ける影響は、呈示した暗算問題の難易度値が低い ($DAS = DVS = 5.85$) 場合、Lag の変化にともなう有意

な変化を示した ($p < 0.01$). この傾向はすべての被験者についてみとめられた ($p < 0.01$). しかしながら, 呈示した暗算問題の難易度値が高い ($DAS = DVS = 8.29, 10.0$) 場合, Lag 変化にともなう聴覚反応時間の有意な変化は, すべての被験者においてみとめられなかった ($p > 0.05$). つまり, 聴覚反応時間が視覚刺激から及ぼされる影響は, 呈示された視覚刺激および聴覚刺激の難易度が低い場合は, 刺激の呈示同期性に依存して変化するが, 呈示された刺激の難易度が高い場合は, 刺激の同期性に依存せず, その影響は刺激の難易度に依存することを示唆している.

以上のことより, 視聴覚情報が同時に呈示される場合, 視覚反応時間および聴覚反応時間に影響を与える要因として以下のことが挙げられる.

- 視覚反応時間に影響を与える要因:
 - 1) 聴覚刺激の難易度値 (DAS)
 - 2) 視聴覚情報の入力同期性 (Lag)
- 聴覚反応時間に影響を与える要因:
 - 1) 視覚刺激の難易度値 (DVS)
 - 2) 聴覚刺激の難易度値 (DAS)
 - 3) 視聴覚情報の入力同期性 ($Lag |_{DAS=DVS=5.85}$)

さらに, 視覚情報と聴覚情報が並列処理されている時間内での相互の影響を検討するために, 視覚情報処理と聴覚情報処理の重複時間を求め, 求めた重複時間と視覚反応時間が聴覚刺激から及ぼされる影響および聴覚反応時間が視覚刺激から及ぼされる影響の関係を検討した. なお, 本論文では視覚情報処理と聴覚情報処理の重複時間を, Fig. 12 に示すように定義した.

被験者 H.M. の視覚反応時間の上昇量および聴覚反応時間の上昇量を, 横軸を Fig. 12 で定義した視覚情報処理と聴覚情報処理の重複時間として Fig. 13 に示す. Fig. 13 に示したように, 視覚反応時間の上昇量は 3040 (± 2990) [msec] までは重複時間の影響を受けないものの, これ以上になると視覚反応時間が聴覚刺激から受ける影響は上昇することがわかった. また, 聴覚反応時間は Fig. 13(1) に示すように, 呈示した暗算問題の難易度が低い ($DAS = DVS = 5.85$) 場合, 重複時間が 940 (± 340) [msec] において視覚情報処理と聴覚情報処理の重複時間の変化による影響を受けているが, Fig. 13(2) および (3) に示すように, 呈示した暗算問題の難易度が高い ($DAS = DVS = 8.29, 10.0$) 場合に関しては重複時間の影響を受けていないことがわかる. これらの傾向は, 視覚反応時間に影響が発生し始める重複時間が被験者 H.H. では 1300 (± 1790) [msec], 被験者 H.Y. では 1240 (± 780) [msec] と個人差はあるものの, すべての被験者についてみとめられた. つまり, 視覚反応時間は聴覚刺激と並列に処理する必要があることにより, 並列処理することを必要とする時間がある値以上になった場合にその影響が発生することを示唆している. また, これらの視覚反応時間の上昇が得られた結果においては, 視覚刺激に対する反応に先行して聴覚刺激に対する反応

が発生する確率は, 被験者 H.M. では 82.9 (± 3.4) [%], 被験者 H.H. では 68.7 (± 24.8) [%], 被験者 H.Y. では 91.7 (± 3.6) [%] と, 視覚刺激と聴覚刺激を並列に処理する必要があるにもかかわらず, 視覚刺激に対する反応に先行して聴覚刺激に対する反応が発生した. つまり, 視覚刺激と聴覚刺激を並列に処理する必要がある時間において, 聴覚刺激に対する処理を優先することで視覚刺激に対する処理が遅れてしまうことが示唆された.

Fig. 12 Definition of the “Overlapped Time”, meaning the time in which it is necessary to process the both of the visual and the auditory stimuli at parallel

Fig. 13 Ratio of $(V_c - V_o)/V_o$ for the visual reaction time and of $(A_c - A_o)/A_o$ for the auditory reaction time as a function of the overlapped time for Subject H.M.

以上の結果にもとづいて, 視聴覚情報処理モデルの構築は, 今後検討を行う予定である.

7. おわりに

本研究では, 人間の視聴覚情報処理メカニズムの解明と, その成果に基づく携帯電話の使用による交通事故原因の究明などの技術システム応用のため, 視覚刺激および聴覚刺激ともに計算問題を用いた反応時間特性を測定し, 視聴覚情報処理間で相互に及ぼす影響を検討した.

得られた結果は人間の聴覚からの情報が視覚情報処理に影響を及ぼすことが携帯電話の使用による交通事故の一因になる仮説を支持している. すなわち, 視覚刺激と聴覚刺激が人間に対して並列 (同時) に入力された場合,

視覚反応時間は視覚刺激の難易度による影響は弱い、聴覚刺激の難易度による影響は強いことがわかった。また、視覚反応時間および聴覚反応時間に影響を与える要因として、視覚刺激の難易度値 (*DVS*)、聴覚刺激の難易度値 (*DAS*) および視聴覚情報の入力同期性 (*Lag*) があげられることがあきらかになった。このことにより、人間の視聴覚情報の並列処理における相互影響を考慮した人間の視聴覚情報処理モデルを構築するとき、視覚刺激の難易度 *DVS*、聴覚刺激の難易度 *DAS* および視聴覚情報入力の同期性 *Lag* を考慮する必要があることは示唆された。

本論文の結果にもとづいて、人間の視聴覚情報処理モデルの構築および携帯電話の使用による交通事故原因の究明などの応用への検討は、筆者らの今後の研究課題である。なお、本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(B)(1)、課題番号：12450104と基盤研究(B)(2)、課題番号：11558005）の助成を得て行われた。

参考文献

- [1] G. Hauske: Biology inspired preprocessing – the how and the why; *IJCNN '93 – NAGOYA Tutorial*, pp. 93–112 (1993)
- [2] A. Karni and D. Sagi: The time course of learning a visual skill; *Nature*, Vol. 365, pp. 250–252 (1993)
- [3] B. Julesz: Textons, the elements of texture perception, and their interactions; *Nature*, Vol. 290, pp. 91–97 (1981)
- [4] J. S. Joseph, M. M. Chun and K. Nakayama: Attentional requirements in a 'preattentive' feature search task; *Nature*, Vol. 387, pp. 805–807 (1997)
- [5] A. Treisman: Feature and objects visual processing; *Scientific America*, Vol. 254, No. 11, pp. 114–124 (1986)
- [6] K. Nakayama and G. H. Silverman: Serial and parallel processing of visual feature conjunctions; *Nature*, Vol. 320, pp. 264–265 (1986)
- [7] G. W. Humphreys and H. J. Muller: SEarch via Recursive Rejection (SERR): a connectionist model of visual search; *Cognitive Psychology*, Vol. 25, pp. 43–110 (1993)
- [8] J. Duncan and G. W. Humphreys: Visual search and stimulus similarity; *Psychological Review*, Vol. 96, No. 3, pp. 433–458 (1989)
- [9] H. Mizuhara, J. L. Wu and Y. Nishikawa: The degree of human visual attention in the visual search; *Artificial Life and Robotics*, Springer-Verlag, Vol. 4 (2000) 印刷中
- [10] 水原, 呉: 人間の形状知覚における視覚探索特性について; 日本機械学会中国四国支部第37期総会・講演会, pp. 387–388 (1999)
- [11] 呉, 水原, 西川: 人間の視覚探索と音声知覚との関連特性について; システム制御情報学会論文誌, Vol. 12, No. 2, pp. 98–105 (1999)
- [12] J. L. Wu, H. Mizuhara and Y. Nishikawa: Measurement of human visual and auditory characteristics for a virtual driving system; *Proc. of The Third Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (AROB '98)*, pp. 715–718 (1998)
- [13] 水原, 呉, 西川: 計算問題における人間の視聴覚反応時間特性; 第43回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 369–370 (1999)
- [14] 積山: 反応時間; 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック (大山・今井・和気編), 誠信書房, pp. 185–193 (1994)
- [15] 大島: 反応時間; 人間工学, コロナ社, pp. 141–146 (1970)