

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：特別推進研究

研究期間：2007～2011

課題番号：19001004

研究課題名（和文） マルチモーダル感覚情報の時空間統合

研究課題名（英文） Spatiotemporal integration of multimodal sensory information

研究代表者

鈴木 陽一 (SUZUKI Yōiti)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：20143034

研究成果の概要（和文）：

本研究では、時空間マーキングという観点からのマルチモーダル感覚情報処理過程の精密記述により、高い迫真性と臨場感、自然性等の高次感性情報の脳科学的モデルを構築し、マルチメディア時空間情報提示システムの定量的設計指針の提供を目的とした。研究の結果、人間の様々なマルチモーダル感覚情報処理過程に関する多くの新知見を得るとともに、これらを包括的に表現可能な高次感性情報の知覚モデルを構築し、それに基づいたマルチメディア時空間提示システムの定量的な設計指針が提案できた。

研究成果の概要（英文）：

This research project aims at precisely describing multimodal perception from the view point of spatiotemporal event marking to build up brain computation models to describe perception of high-level *kansei* information such as verisimilitude, presence and naturalness for multimedia information. Based on such knowledge, this project also aims at providing quantitative design guidelines for multimedia spatiotemporal information display systems. As results of this project, we have accumulated a lot of new knowledge on multimodal spatiotemporal perception and have described human perception models of high-level *kansei* information. Finally, we have drawn up the quantitative design guidelines for multimedia spatiotemporal information display systems.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	40,300,000	12,090,000	52,390,000
2008 年度	96,900,000	29,070,000	125,970,000
2009 年度	88,400,000	26,520,000	114,920,000
2010 年度	78,700,000	23,610,000	102,310,000
2011 年度	43,700,000	13,110,000	56,810,000
総計	348,000,000	104,400,000	452,400,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：マルチモーダル感覚情報、マルチモーダル情報通信技術、迫真性・臨場感・自然性、3次元ディスプレイ

## 1. 研究開始当初の背景

情報通信技術の発達に伴い、視覚、聴覚、触覚、前庭感覚など、種々の感覚により構成された情報（マルチモーダル感覚情報）を用いた超臨場感通信実現への期待が高まって

いる。しかし、現在のマルチメディアシステムはだれもが安心して自然に快適に使えるようなものではない。この問題を解決するためには、情報を複数の異なる感覚受容器官で同時並列に受容した複合感覚情報、すなわち

マルチモーダル感覚情報の処理過程を明らかにし、その仕組みに根ざした情報システムを構築していくことが必要である。しかし、そもそもマルチモーダル感覚情報処理の問題が注目されたのは 1990 年代後半からであり、時間と空間情報に関するマルチモーダル感覚情報処理の機序解明という研究は、ようやくその緒についたばかりであった。

本研究開始時点までにおける我々の研究の結果、多重並列的に入力された感覚情報群が、時間分解能も処理速度も異なる複数の感覚器官を経る過程で、いつ（時間）、どこ（空間）で発生した事象（event）かを定めるために必要なマーキングが行われ、その結果を利用して空間性と時間性の統合を行う過程の解明が鍵であることが明らかになってきていた。この「時空間マーキングに基づく高度感性情報の生成」という新たな概念に基づけばマルチモーダル感覚情報統合メカニズムを体系的に記述可能であると考えた。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、時空間マーキングに基づくマルチモーダル感覚情報統合という独創的な視点にたち、マルチモーダル感覚情報処理過程の精密な記述を目指し、研究機関終了時には、高い迫真性と臨場感、自然性の脳科学的実現モデルを構築し、マルチメディア時空間情報提示システムの定量的設計指針を提供することを目的とした。

この目的の実現により、現実の知覚体験の場で用いられている仕組みを世界に先駆けて明らかにすることができる。この成果は、急速に仮想マルチメディア環境化しつつある現代の情報ネットワーク化社会を人間の認知形に適した人間にやさしいものとして健全に育てていくために極めて有効である。

## 3. 研究の方法

本研究は、人間の知覚メカニズムを明らかにすることが重要な第一歩となることから、単に工学的な見地からの研究だけでなく、様々な分野の研究者が多面的な角度から問題にアプローチする必要がある。そこで、情報通信工学、情報科学、心理学、医学、脳科学といった様々な分野の研究者からなる学際的な研究チームを構築し、各研究者が密結合して研究を推進した。

さらに、より高いレベルで研究を実施し、研究成果を得るため、研究期間を通して、心理物理・脳科学的計測の蓄積による統合過程の理解、時空間統合モデルの構築、マルチモーダル時空間情報提示装置の実現を、平行、かつ、有機的に結合させて研究を遂行した。

研究実施時は、(1) マルチモーダル感覚情報処理時空間マーキングとその統合過程の解明、(2) マルチモーダル感覚情報の空間

性・時間性の統合に関する学習過程の解明に取り組み、(3) 高度なマルチメディア時空間提示システムの実現にむけた工学的検討、(4) マルチモーダル感覚情報に対する迫真性や臨場感、自然性等の高度感性情報知覚モデルを構築、の各サブテーマに分け、最終的には、マルチモーダル感覚情報提示システムの定量的設計指針の提供を目指した。

## 4. 研究成果

### (1) マルチモーダル感覚情報処理時空間マーキングとその統合過程の解明

現在までに公表された最重要な成果は、聴覚誘導性視運動知覚（sound induced visual motion : SIVM, Hidaka *et al.*, 2009）と、聴覚随伴性視覚運動残効（sound contingent visual motion aftereffect : SCVA, Teramoto *et al.*, 2010）を世界に先駆けて発見したことであろう。SIVM は静止した視覚刺激が移動する聴覚刺激により動いて知覚される現象であり、SCVA は高さの異なる二音を繰り返し提示し、それと同期して移動する視覚刺激を繰り返し見続けると、その後と同じ二音の音刺激と静止視覚刺激が提示された際に、二種の音に対応した視覚刺激の動きが知覚される現象である。さらに SCVA に関しては、人間が主観的に区別できない音でも発生する現象である（Kobayashi *et al.*, 2012）ことも明らかとなっている。いずれも、マルチモーダル感覚情報の統合処理がこれまで考えられていた以上に極めて初期段階で、かつ、短時間で行われることを示すものである。

これら以外にも、触覚と聴覚の刺激の強度に整合性がある場合に、粗さ知覚に聴覚が強い影響を及ぼす現象（Suzuki *et al.*, 2008）や、自己運動中には音空間が圧縮して知覚される現象（Teramoto *et al.*, in press）など、興味深い現象を明らかにした。また、より高次の処理が必要となる音声情報処理に関しても、話者映像と音声から得られる高次感性情報の統合メカニズムにおいて、どちらの感

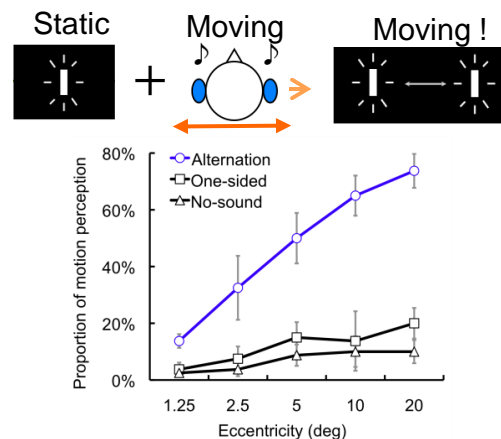


図 1 聴覚誘導性視運動知覚 (SIVM)

覚情報が支配的となって知覚されるかを明らかにした (Tanaka *et al.*, 2009)。これらの知見に基づいて、マルチモーダル感覚情報のイベント抽出モデルを構築した。

なお、以上のような活動の学術的価値が関連研究者に認められ、日本基礎心理学会第 27 回大会「マルチモーダル感覚情報の時空間統合をめぐって」(2008 年)、多感覚研究会 (2009, 2010 年) を仙台で開催し、国際的にも、この分野でアクティビティの高い International Multisensory Research Forum (IMRF) を 2011 年に日本に初めて招致(当初は 6 月仙台開催の予定であったが、東日本大震災のため、開催地を福岡に変更し 10 月に開催、実行委員長：鈴木陽一)した。

(2) マルチモーダル感覚情報マーケティングと、時空間情報統合に関する学習過程の解明

生後間もないサルの子供を使つて視聴覚統合の発達について検討し、それまで全く見聞きしたことがない映像と音を初めて体験した際、極めて高度な視覚情報処理が必要だと考えられている「顔と表情」においても、成年サルと同じような識別が可能なのを見いだした。また、視野を制限することにより 2 足歩行が促進されることも明らかになった (Manaka *et al.*, 2009)。

これらの結果も、個々の感覚器官から得られた情報が極めて早期の段階から互いにアクセス可能な情報に変換されていることを示している。

(3) 高度なマルチメディア時空間提示システムの実現に向けた工学的検討

高次感性情報の指標として臨場感が広く用いられている。これに加え我々は「本物らしさ」を表す指標である迫真性に着目した。

「あたかもその場にいる感じ」を表す臨場感が背景情報の本物らしさに関係する感性指標であることを示すと共に、迫真性が前景情報に依存して決定されることを明らかにした。さらに、迫真性や臨場感が物理世界に忠実であることによって最大化できるものではないことも明らかにした (寺本他, 2010)。

次世代マルチメディア時空間提示システ



図 2 視野制限を行った成年サルによる二足歩行

ムの構築に関しては、世界最高精度の次数 (5 次) を実現した 157ch 高次アンビソニックス高精細音空間再生システムに広視野角立体映像ディスプレイを組み合わせた 3 次元視聴覚ディスプレイを構築し、さらにこの成果に基づき、32ch の 4 次アンビソニックスシステムに広視野角映像ディスプレイを組み合わせた可搬型視聴覚ディスプレイを構築した。これらのシステムは、位置、時間とも精密に同期した音信号と映像信号により高精細視聴覚イベントを提示可能となっている (Suzuki *et al.*, 2012)。

このほかにも、前庭感覚刺激提示用モーションプラットフォームと曲面スクリーンを用いた、広視野角対応視聴覚前庭覚刺激提示システムも構築した。これらのシステムは、上述の様々な知覚実験に活用された。可搬型視聴覚ディスプレイは、2012 年 3 月に仙台市内で行われた The 5th International Symposium and the 4th Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems において展示し、多くの参加者が実際に体験した。

(4) 高度感性情報知覚モデルとマルチモーダル時空間提示システムの定量的設計指針の構築

本研究から得られた知覚心理・脳科学実験結果に基づいてマルチモーダル感覚情報の

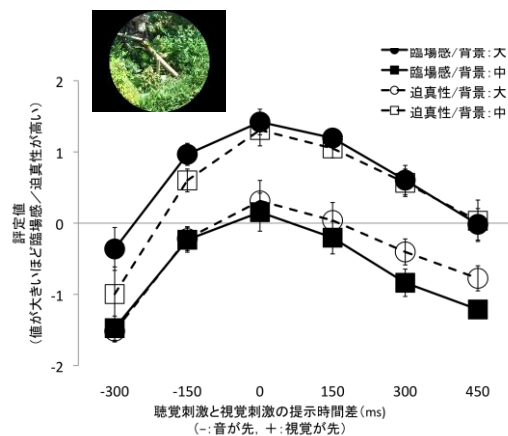


図 3 迫真性、臨場感の時間特性

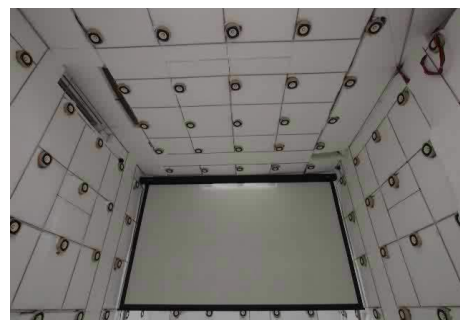


図 4 世界最高精度の次数を実現する超高精細 3 次元音空間再生システム



図5 広視野湾曲型視覚・聴覚・前庭感覚ディスプレイ

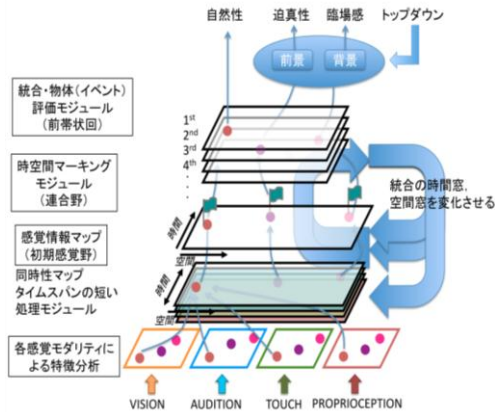


図6 本研究提案の高次感性情報の脳内生成モデル

統合モデルの構築，精緻化を進め，信頼性に基づく重みづけと，ベイズ推定でマルチモーダル感覚統合過程が表現できることを明らかにした。マルチモーダル感覚情報の統合モデルは，高次感性情報知覚過程の基盤となる脳内処理過程を表す重要なものである。また，これらの知見を用いて，迫真性・臨場感の知覚数理モデルの構築を進め，迫真性や臨場感の性質を表現することができただけでなく，これまでの成果に基づいて，多感覚情報システムにおいて高い感性情報を実現するための設計指針を作成した。

以上の研究を通じ，本研究プロジェクトが目指してきた，高次感性情報の知覚モデルに基づいたマルチメディア時空間提示システムと設計指針が構築でき，本研究の目標が達成できたものと考えている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 85 件)

1. W. Teramoto, S. Sakamoto, F. Furune, J. Gyoba and Y. Suzuki, “Compression of auditory space during forward self-motion,” PLoS ONE (in press) (査読有)
2. M. Kobayashi, W. Teramoto, S. Hidaka

and Y. Sugita, “Indiscriminable sounds determine the direction of visual motion,” Scientific Reports, 2, 365, 2012 (査読有)

3. Y. Suzuki, T. Okamoto, J. Trevino, T. Kimura, S. Sakamoto, Z. L. Cue, M. Katsumoto and Y. Iwaya, “Toward 3D spatial audio systems with high sense-of-presence,” Proc. 5th IUCS, TS-3-1 (10 pages manuscript), 2011 (査読有) (Proceedings 論文, 招待講演)
  4. 寺本渉, 吉田和博, 日高聡太, 浅井暢子, 行場次朗, 坂本修一, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, “「迫真性」を規定する時空間情報”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 15(3), 483-486, 2010 (査読有)
  5. W. Teramoto, S. Hidaka and Y. Sugita, “Sounds move a static visual object,” PLoS ONE, 5(8), e12255, 2010 (査読有)
  6. A. Tanaka, A. Koizumi, H. Imai, S. Hiramatsu and B. de Gelder, “I feel your voice: Cultural differences in the multisensory perception of emotion,” Psychological Science, 21(9), 1259-1262, 2010 (査読有)
  7. S. Hidaka, Y. Manaka, W. Teramoto, Y. Sugita, R. Miyauchi, J. Gyoba, Y. Suzuki and Y. Iwaya, “Alternation of sound location induces visual motion perception of a static object,” PLoS ONE, 4, e8188, 2009 (査読有)
  8. Y. Manaka and Y. Sugita, “Insufficient visual information leads to spontaneous bipedal walking in monkeys,” Behavioral Processes, 80, pp.104-106, 2009 (査読有)
  9. Y. Suzuki, J. Gyoba and S. Sakamoto, “Selective effects of auditory stimuli on tactile roughness perception,” Brain Research, 1242, 87-94, 2008 (査読有)
- などを含め，学術誌論文 48 件，紀要論文 2 件，国際会議 Proceedings 論文 35 件。

[学会発表] (計 218 件)

1. 寺本渉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聡太, 行場次朗, 坂本修一, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, “バーチャル・リアリティの“リアリティ”, ” 映像情報メディア学会立体映像研究会, 2012.3.5, 東京 (招待講演)
2. 杉田陽一, “異種感覚間相互作用の神経基盤について,” 第3回多感覚研究会 (チュートリアル講演), 2012.1.18, 東京
3. Y. Suzuki, Y. Iwaya, S. Sakamoto and T. Okamoto, “Auditory Displays and Microphone Arrays for Active Listening,” 40th Audio Engineering Society (AES) Conference – Spatial

Audio -, 2010.10.9, Tokyo (Keynote lecture)

4. S. Sakamoto, T. Kubodera, P. M. Grove, K. Sakurai, J. Gyoba and Y. Suzuki, "Self-motion perception by multimodal stimulation based on virtual reality technology," 11th International Multisensory Research Forum (IMRF), 2010.6.18, Liverpool, UK (シンポジウム講演)
5. A. Tanaka, A. Koizumi, H. Imai, S. Hiramatsu, E. Hiramoto and B. de Gelder, "Perception of emotion in face and voice: Crosscultural comparison," Proc. 10th International Multisensory Research Forum (IMRF), 2009.6.30, New York, USA

などを含め, 国外発表: 91 件, 国内発表: 127 件 (うち, 招待講演: 37 件)

[図書] (計 4 件)

1. Y. Suzuki, D. Brungart, Y. Iwaya, K. Iida, D. Cabrera and H. Kato (Edited), "Principles and applications of spatial hearing," 39 chapters, 520pp, World Scientific, Singapore, 2011
2. 鈴木陽一, 岩谷幸雄 (分担執筆), "バーチャルリアリティ学" 「4 章 聴覚レンダリングとモデル」 pp.110-114, ISBN: 978-4769351382, 工学調査会, 2009 などを含め, 4 件

[その他]

受賞:

1. 寺本渉, 吉田和博, 浅井暢子, 日高聡太, 行場次朗, 鈴木陽一, "臨場感の素朴な理解," 日本バーチャルリアリティ学会論文賞, 2011
2. 河地庸介, 行場次朗, "知覚的に消失した物体の削除が再起させる視覚的アウェアネス," 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞, 2007

などを含め, 11 件

ホームページ:

<http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/multimodal.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 陽一 (SUZUKI Yôiti)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号: 20143034

### (2) 研究分担者

行場 次朗 (GYOBA Jiro)

東北大学・大学院文学研究科・教授

研究者番号: 50142899

川瀬 哲明 (KAWASE Tetsuaki)

東北大学・大学院医工学研究科・教授

研究者番号: 50169728

櫻井 研三 (SAKURAI Kenzo)

東北学院大学・教養学部・教授

研究者番号: 40183818

杉田 陽一 (SUGITA Yoichi)

産業技術総合研究所・ヒューマンライフテ

クノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号: 40221311

岩谷 幸雄 (IWAYA Yukio)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号: 10250896

坂本 修一 (SAKAMOTO Shuichi)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号: 60332524

宮内 良太 (MIYAUCHI Ryota)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研

究科・助教

研究者番号: 30455852

田中 章浩 (TANAKA Akihiro)

早稲田大学・高等研究所・助教

研究者番号: 80396530

(2008~2009 年度: 連携研究者)

矢入 聡 (YAIRI Satoshi)

仙台高等専門学校・情報デザイン学科・助

教

研究者番号: 00447187

(2009~2011 年度: 連携研究者)

### (3) 連携研究者

大谷 真 (OTANI Makoto)

信州大学・工学部・准教授

研究者番号: 40433198

河地 庸介 (KAWACHI Yosuke)

東北福祉大学・感性福祉研究所・講師

研究者番号: 20565775

川畑 秀明 (KAWABATA Hideaki)

慶応義塾大学・文学部・准教授

研究者番号: 70347079

久保寺 俊朗 (KUBODERA Toshio)

東京大学・大学院総合文化研究科・教務補

佐員

小林 まおり (KOBAYASHI Maori)

明治大学・研究・知財研究機構・研究員

研究者番号: 90451632

日高 聡太 (HIDAKA Souta)

立教大学・現代心理学部・准教授

研究者番号: 30455852

寺本 渉 (TERAMOTO Wataru)

室蘭工業大学・工学研究科・助教

研究者番号: 30509089

本多 明生 (HONDA Akio)

東北福祉大学・総合福祉学部・助教

研究者番号: 80433564