

平成29年度科学研究費助成事業（特別推進研究）自己評価書
〔追跡評価用〕

平成29年4月21日現在

研究代表者 氏名	鈴木 陽一	所属研究機関・ 部局・職 (研究期間終了時)	東北大学・電気通信研究所・教授
研究課題名	マルチモーダル感覚情報の時空間統合		
課題番号	19001004	研究期間	平成19年度～平成23年度
研究組織 (研究期間終了時)	<p>研究代表者 鈴木 陽一（東北大学・電気通信研究所・教授）</p> <p>研究分担者 行場 次朗（東北大学・大学院文学研究科・教授） 川瀬 哲明（東北大学・大学院医工学研究科・教授） 櫻井 研三（東北学院大学・教養学部・教授） 杉田 陽一（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） 岩谷 幸雄（東北大学・電気通信研究所・准教授） 坂本 修一（東北大学・電気通信研究所・准教授） 宮内 良太（北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教） 田中 章浩（早稲田大学・高等研究所・助教）</p>		

【補助金交付額】（研究期間全体）（直接経費）： 348,000 千円

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか

特別推進研究によってなされた研究が、どのように発展しているか、次の(1)～(4)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究の概要

(研究期間終了後における研究の実施状況及び研究の発展過程がわかるような具体的内容を記述してください。)

本研究では、複数感覚器官への並列入力情報（マルチモーダル感覚情報）の時空間統合過程を明らかにし、その仕組みに基づいて高次感性情報の定量評価法構築とシステム設計指針の構築を目指した。研究期間終了後、私自身は進捗評価コメントのうち、高次感性指標の定量化とシステム設計論の具体化を念頭に、3次元音空間知覚に関するマルチモーダル情報処理を中心に、主に私が代表の2つの科研費基盤研究(A)により研究を進めてきた。

1) マルチモーダル感覚情報処理過程としての3次元音空間知覚過程の更なる解明

3次元音空間知覚過程は聴覚のみならず視覚や自己運動感覚等の情報にも基づくマルチモーダル感覚情報処理過程であるとの理解（アクティブリスニング）に基づき、心理物理学の実験を中核として研究を進めた。視覚情報と聴覚情報の統合については、視覚情報と聴覚情報それぞれの物理的位置と主観的定位位置の異同、両者が一緒に提示されたときの相互作用について詳細な検討を行った。また、聴取者が移動中の音空間提示について、聴取者が直線運動している場合の3次元音空間の知覚歪と、聴取者が回転運動している正にその間の音空間知覚精度を詳細に検討してきている。その結果、アクティブリスニング過程が複数のモードから構成されていることが明らかになりつつあるなど、重要な成果が得られている。

2) 全身振動を含むマルチモーダルコンテンツの高次感性表出要因の定量化

研究期間中に、高次感性情報の評価指標として従来から広く用いられている臨場感に加え、迫真性を提案した。期間終了後は、視聴覚情報に加え全身振動情報も加えたマルチモーダルコンテンツを用い、臨場感と迫真性の表出要因の精緻化と、マルチモーダル化による効果が観測される時間窓長、全身振動のレベルと臨場感および迫真性の変化の定量化を進めてきた。その結果、臨場感はコンテンツが示す場全体の評価を行っているのに対し、迫真性はコンテンツ内の前景情報や観測者のイメージとの整合性の判断に基づく異なった高次感性指標であることが、より明確になった。また、振動を含むコンテンツについても、視聴覚コンテンツと同様、迫真性は、刺激強度を強めるにつれて増加する傾向を示す臨場感とは異なり、実際とほぼ同様の刺激の強さで最高値を示す高次感性指標であることを確認した。これは、今後のエンタテインメントシステム等の最適設計に重要な成果である。

3) マルチモーダル感覚情報処理過程としての音空間知覚に対応した3次元音空間システム設計論と実践

空間情報の共有は遠隔協働の例を取るまでもなく、極めて重要な基盤技術である。また、空間に関する高度な感性の表出にあたって音情報が重要な役割を果たすことは本特別推進研究の期間中に明らかにしてきたところである。そこで終了後は、基盤研究マルチモーダル感覚情報に基づくアクティブリスニングを考慮し、聴取者の運動に応じて高精度の3次元音空間情報の取得と提示を行いうる設計論の確立とシステム構築を進めてきた。

音空間情報提示システムについては、ある領域内で聴取者が移動しても高精度な音場情報の提示が可能な音場制御と呼ばれるアーキテクチャに引きつづき着目、信号処理法の高度化とシステム実現を進めてきた。その結果、システム規模を保ったまま複数の領域の音場を制御し複数聴取者への対応を可能とする信号処理法や、円筒座標系において集音と音提示システムの独立設計が可能な信号処理法などを世界に先駆けて示した。

また、私は提示システムと両輪でありながら比較的研究の少ない集音システムも重視して研究を進めている。聴取者の両耳の音圧を聴取者の移動に応じて制御し音空間情報を提示する両耳音圧合成型（バイノーラル型）のシステムについて、人頭大の多チャンネル球状マイクロフォンアレイと聴取者の周りの音源から両耳までの音伝達特性（頭部伝達関数、HRTF）を用いたシステムの高度化を、信号処理法とHRTFの空間特性表現法の両面から推進してきた。また、そのようなアーキテクチャに基づくシステムの総合的設計理論を体系化した。これは今後の両耳音圧合成型3次元音空間システムの最適設計に極めて大きな貢献をなし得る成果であると自負している。

4) 屋外という広大な空間における非常時情報伝達用音響システムの高度化

本研究で着目した感覚情報間の「時空間統合」は言語や感情などの高次処理にも大きな影響を及ぼす。その一端は研究期間中にも明らかとなっていたが、本研究終了1年前に発生した東日本大震災でその影響をまざまざと知ることとなった。屋外空間を伝搬する音声時間が時間的に重なることにより音声聴取が著しく阻害されるという現象である。そこで本研究終了後、屋外拡声というスケールで情報を的確に提示するための時空間特性の解明とシステム応用を目指す研究を本格化させ、情報伝達に有効な音特性の解明と信号処理法の研究を進めている。

終了後、感覚情報処理分野の高水準学術誌 *i-perception* から特集号編集の招待を受け、分担者の櫻井らと共にエディタとしてマルチモーダル感覚情報処理に関する特集号を実現した。またこの5年間に基調講演2件（本人登壇）、招待講演39件（本人登壇19件、共著20件）、招待論文2件を受け、FIT 船井ベストペーパー賞（2013）、佐藤論文賞（2017）、志田林三郎賞（2015）、文部大臣表彰（2016）をはじめ、7件の学術顕彰を受けた。また、科研費の他、自身が代表の日中間フォーサイトプログラムにより多くの大学院生の育成を行い、期待通りの成果を挙げたとする総合評価を得、自身が指導した18件の学生顕彰にもつながった。

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）

(2) 論文発表、国際会議等への招待講演における発表など（研究の発展過程でなされた研究成果の発表状況を記述してください。）

【発表論文（全て査読有）】

C. Salvador, S. Sakamoto, J. Trevino, Y. Suzuki, “Design theory for binaural synthesis: combining microphone array recordings and head-related transfer function datasets,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 38(2), 51-62 (2017). (invited review)

C. Salvador, S. Sakamoto, J. Trevino, Y. Suzuki, “Distance-varying filters to synthesize head-related transfer functions in the horizontal plane from circular boundary values,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 38(1), 1-13 (2017).

C. Salvador, S. Sakamoto, J. Trevino, Y. Suzuki, “Spatial accuracy of binaural synthesis from rigid spherical microphone array recordings,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 38(1), 23-30 (2017).

S. Hu, J. Trevino, C. Salvador, S. Sakamoto, J. Li, Y. Suzuki, “A local representation of the head-related transfer function,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 140(3), EL285-EL290 (2016).

J. Trevino, S. Sakamoto, J. Li, Y. Suzuki, “Enhancing stereo signals with high-order Ambisonics spatial information,” *IEICE Trans. on Info. Sys.*, E99-D(1), 41-49 (2016). (invited paper)

S. Sakamoto, S. Hongo, T. Okamoto, Y. Iwaya, Y. Suzuki, “Sound-space recording and binaural presentation system based on a 252ch microphone array,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 36(6), 516-526 (2015). (日本音響学会第57回佐藤論文賞受賞)

柳生寛幸, 崔正烈, 坂本修一, 大谷智子, 鈴木陽一, 行場次朗, “多感覚情報の同期ずれが体験中の高次感性知覚に与える影響,” *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 20(3), 199-208 (2015).

A. Honda, T. Kanda, H. Shibata, S. Sakamoto, Y. Iwaya, J. Gyoba, Y. Suzuki, “Senses of presence and verisimilitude of audio-visual contents: Effects of sounds and playback speeds on sports video,” *Interdisciplinary Information Sciences*, 21(2), 143-149 (2015).

T. Shimizu, J. Trevino, S. Sakamoto, Y. Suzuki, “A multi-zone approach to sound field reproduction based on spherical harmonic analysis,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 36(5), 441-444 (2015).

S. Sakamoto, S. Hongo, Y. Suzuki, “3D sound-space sensing method based on numerous symmetrically arranged microphones,” *IEICE Trans. on Fund. Elect., Comm. Comp. Sci.*, E97-A(9), 1893-1901 (2014).

J. Trevino, S. Koyama, S. Sakamoto, Y. Suzuki, “Mixed-order Ambisonics encoding of cylindrical microphone array signals,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 35(3), 174-177 (2014).

崔正烈, 柳生寛幸, 坂本修一, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, “回転する聴覚刺激が回転ベクション感覚に及ぼす影響,” *電子情報通信学会論文誌*, J97-D(4), 891-894 (2014).

S. Sakamoto, G. Hasegawa, A. Honda, Y. Iwaya, Y. Suzuki, J. Gyoba, “Body vibration effects on perceived reality with multi-modal contents,” *ITE Trans. on Media Tech. and App.*, 2(1), 46-50 (2014).

R. Miyauchi, D. Kang, Y. Iwaya, Y. Suzuki, “Relative localization of auditory and visual events presented in peripheral visual field,” *Multisensory research*, 27(1), 1-16 (2014).

本多明生, 神田敬幸, 柴田寛, 浅井暢子, 寺本渉, 坂本修一, 岩谷幸雄, 行場次朗, 鈴木陽一, “視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性の規定因,” *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 18(1), 93-101 (2013).

【主な国際会議等招待講演】

S. Sakamoto, Y. Suzuki, “Performance analysis of a compact spherical microphone array on sound-space sensing for binaural presentation,” *The 22nd International Congress on Acoustics* (2016).

S. Sakamoto, Z. Cui, T. Ohtani, Y. Suzuki, J. Gyoba, “Effects of vibration information on the sense of presence and verisimilitude of audio-visual scenes,” *internoise2016* (2016).

Y. Suzuki, “Spatial Perception in the Presence of Auditory Information,” *The 7th Forum Acusticum 2014* (2014). (Keynote Lecture)

Y. Suzuki, J. Trevino, T. Okamoto, Z. Cui, S. Sakamoto, Y. Iwaya, “High definition 3D auditory displays and microphone arrays for the use with future 3D TV,” *Three Dimensional Systems and Applications* (2013).

1. 特別推進研究の研究期間終了後、研究代表者自身の研究がどのように発展したか（続き）

(3) 研究費の取得状況（研究代表者として取得したもののみ）

科研費	基盤研究（A）16H01736
研究期間	2016-04-01～2019-03-31
研究題目	「ADVISE 理論に基づく自由聴取点高精細 3 次元音空間システムの開発」
配分額	44,070 千円（直接経費：33,900 千円，間接経費：10,170 千円）
科研費	基盤研究（A）24240016
研究期間	2012-04-01～2015-03-31
研究題目	「高精細 3 次元音空間情報のセンシングとディスプレイ技術の開発」
配分額	45,110 千円（直接経費：34,700 千円，間接経費：10,410 千円）
総務省	情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発（平成 23 年第 3 次補正予算）
研究期間	2012-03-23～2013-03-30
研究題目	多様な通信・放送手段を連携させた多層的な災害情報伝達システムの研究開発： 災害情報の屋外音声伝達性能の向上に関する技術開発
配分額	45,790 千円（直接経費：39,645 千円，間接経費：3,964 千円）

(4) 特別推進研究の研究成果を背景に生み出された新たな発見・知見

- ・聴取者が直線運動時の 3 次元音空間の知覚歪が前方移動時と後方移動時で異なり，その歪が生じる傾向が，提示される感覚情報が持つ得失を反映・補う形で生じることを世界に先駆けて示した。
- ・聴取者が頭部を運動している正にその間の音空間知覚精度が，従来の移動後に回答を求めた場合とは逆に，劣化すること，その劣化は回転が自覚しづらいほど低速（0.25 度/秒）でも生ずることを世界に先駆けて示した。この成果は，アクティブリスニング過程が，聴取者移動時と，移動を終えて空間の認知を行う場合で異なることを示す重要なものである。
- ・視聴覚刺激の物理的位置と主観的定位，及びその相互作用を定量的に評価した結果，視聴覚情報を同時に与えた場合，視聴覚情報を個別に与えた場合と異なり，聴覚情報（小型音源）が視覚情報（光点）より概ね 5 度外側に位置しているときに同位置と知覚されることを世界に先駆けて示した。これは，視聴覚マルチモーダル条件下の空間知覚が両感覚情報の統合に基づいていることを示唆する重要な知見である。
- ・回転する聴覚刺激が視覚誘導性回転運動感覚に及ぼす影響が，音場の動く方向や速度に関係なく，動的音空間情報を聴覚刺激として提示することにより，回転運動感覚が弱い場合には増加することを世界に先駆けて示した。この成果は FIT2013 船井ベストペーパー賞を受賞した。
- ・視聴覚情報に全身振動情報を加えたマルチモーダルコンテンツを用い，臨場感と迫真性の定量化を進めた結果，全身振動レベルの変化に対し，迫真性は臨場感より低いレベルでピークアウトすることが示された。これは，迫真性が臨場感とは異なり刺激の強さに頼らない高次感性指標であることを視聴覚情報に加え全身振動についても確認した成果であり，今後のマルチモーダルシステムを最適設計するうえで重要な新知見である。
- ・高次 Ambisonics 法に基づく音空間情報提示システムの新しい設計法として，システム規模を保ったまま複数の領域の音場制御を行い，複数名の聴取者に高精細音空間情報提示を可能とする信号処理法を開発した。
- ・円筒座標において高次 Ambisonics と同様の集音，音提示を行う信号処理法を世界に先駆けて示した。
- ・人頭大の 252ch チャンネル球状マイクロフォンアレイを構築し，聴取者の周りの音源から両耳までの音伝達特性（頭部伝達関数，HRTF）を直接合成する信号処理（SENZI）の実時間動作を実現。この成果により日本音響学会の最優秀論文賞である第 57 回佐藤論文賞（2017.3）を受賞した。
- ・球状マイクロフォンアレイと聴取者の周りの音源から両耳までの音伝達特性（頭部伝達関数，HRTF）を用いたシステム設計の高度化を推進，音場境界の整合を図る Boundary Matching Filter と呼ぶ我々が新たに考案した線形フィルタ処理を導入することにより従来より優れた性能を持つ信号処理法を開発した。
- ・球状マイクロフォンアレイと聴取者の周りの音源から両耳までの音伝達特性（頭部伝達関数，HRTF）を用いた両耳音圧制御型（バイノーラル型）音空間情報提示システムの総合的設計理論を体系化した。これは今後の両耳音圧合成型 3 次元音空間システムの最適設計に極めて大きな貢献をなし得る成果であると自負している。
- ・屋外という広大な空間における非常時情報伝達用音響システムの高度化を，伝達する音信号の時空間特性の最適化という観点から取り組み，特定事象を示す音（サイン音）の有効性，親密度（なじみの程度）が高い単語の有効性，音声の区切りにポーズを設けることの重要性などを示した。
- ・頭部伝達関数（HRTF）のデータ表現フォーマットを国際共同研究により策定し，そのフォーマットを用いて 105 人 210 耳の HRTF データからなるデータセットの公開を始めた。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況

特別推進研究の研究成果が他の研究者に活用された状況について、次の(1)、(2)の項目ごとに具体的かつ明確に記述してください。

(1) 学界への貢献の状況（学術研究へのインパクト及び関連領域のその後の動向、関連領域への関わり等）

・マルチモーダル感覚情報処理に関する研究者コミュニティの構築・発展

マルチモーダル感覚情報処理過程の解明に関する研究は工学、心理学、脳科学、医学などの多くの研究分野が深く関係する学際的な研究分野で、従来の研究活動はそれぞれの分野で独立的に研究を行うものが主軸であり、研究分野を横断した活動というのはそれほど多くは見受けられなかった。本研究プロジェクトでは、参画者が様々な研究分野出身だったこともあり、分野を横断した研究者コミュニティの構築に力を注いだ。実際に研究期間中の2009年に仙台で初めて開催された多感覚研究会の実現に寄与し、2010年も引き続いて仙台で開催したほか、2011年に多感覚研究に関する世界で最も大きな国際学会である International Multisensory Research Forum (IMRF) を初めて日本に招致するなど活発に活動を行ってきた。

その結果は、本研究プロジェクトが終了した後も大きく花開いており、先に記載した多感覚研究会は2016年まで毎年全国の様々な箇所を会場として開催され、現在では第7回を数えるまでになった。また、IMRFでは2012年以降も、本研究プロジェクトの研究代表者である鈴木がほぼ毎年 Scientific Committee メンバーに名を連ねているなど、現在でも世界的に本研究プロジェクトの成果が認知されている状況である。

得られた研究成果の学術的な水準も高く、難波精一郎氏（学士院会員、大阪大学名誉教授）編著の「音と時間」（コロナ社、2015）への執筆招待を受け、本研究プロジェクトで進めた研究を、関連する他の多くの研究と比較検討、議論する形でまとめた「空間と時間」という章が研究代表者の鈴木によりまとめられ、出版された。

・3次元音空間高精度集音・再生技術の高度化に関する研究

本研究プロジェクトの柱の一つである「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」では、特に視聴者の動きを伴うアクティブリスニングも考慮した3次元マルチモーダル音空間技術の中核として研究を推進した。その過程では、球面調和関数を規範とした高次アンビソニックス (HOA) に着目し、実際のシステム構築できわめて重要となる様々なスピーカ配置において最適な音空間提示を可能とする技術を定式化し、157ch チャネルスピーカアレイにより当時世界最高次数の5次 HOA 高精細音空間再生システムを構築した。

これらの成果は特に音響に関連する学術分野へ高いインパクトを与えている。本分野の世界的研究機関であるフランスの IRCAM やシドニー大学の多チャンネルシステム構築に影響を与えた他、関連する学会のコミュニティの技術向上に貢献している。例えば、2012年10月に「多チャンネルオーディオの可能性」をテーマとして仙台で開催された AES ジャパンコンファレンスでは、上述の5次 HOA システムの見学ツアーが組み込まれた。本研究プロジェクトの研究分担者である岩谷がこのコンファレンスの実行委員長に、同じく研究分担者の坂本が技術発表の副委員長を務めることになったことも、本研究プロジェクトの貢献が高かったことを示している。

研究成果自体の学術的な意義についても、国内にとどまらず世界から注目されるものであったと考えている。本研究プロジェクトに関連して構築を進めた球状マイクロフォンアレイを用いた3次元音空間集音・再生技術に関する論文は日本音響学会の最優秀論文賞である佐藤論文賞を2017年に受賞したほか、国際的な注目度も高く、7件の招待講演や、世界的権威である Blauert 教授が主導する欧州の両耳技術プロジェクトに日本でただ一人の構成員として招かれるなど、大きな貢献を果たしてきた。また、この分野で活発に研究を行っている研究機関であるシドニー大学（豪）、サザンプトン大学（英）、オルデンブルク大学（独）との共同研究が始まるなど、世界的な研究拠点形成に発展している。

・頭部伝達関数（head-related transfer function: HRTF）データセットの公開

HRTF は自由空間内のある位置にある音源から両耳までの音伝搬特性を表し、身体形状に強く依存することから個性が強い。人間は HRTF とその両耳間差を用いて、基本的な3次元音空間知覚を行っていると考えられる。本研究プロジェクトでも重要な研究項目となっており、その後の追加データを含め、105名210耳の HRTF を学術研究用に無償で公開した (<http://www.riec.tohoku.ac.jp/pub/hrtf/index.html>)。2014年3月11日の公開以来、2,873件のアクセスと24,432件のダウンロードが行われている。

・高次感性知覚メカニズムの解明とシステム応用

本研究プロジェクトでは、「臨場感」「迫真性」といった高次感性情報の知覚、創出に関する研究を行い、脳内生成モデルを提案した。また、この知見に基づいた「マルチメディア時空間提示システムの定量的設計指針の構築」を進めてきた。この中で行った、従来ほぼ唯一の指標として使われてきた「臨場感 (presence)」とは異なる特性を評価可能な「迫真性 (verisimilitude)」の提案はインパクトの高いものであり、心理学関係で世界最大の国際学会で2016年に横浜で開催された 31st International Congress of Psychology (ICP2016) において「Senses of presence and verisimilitude as important factors for creating and evaluating affective space」と題したテーマセッションが企画されるなど、本研究プロジェクト終了後に世界的にも関連分野へ大きく波及している。

2. 特別推進研究の研究成果が他の研究者により活用された状況（続き）

(2) 論文引用状況（上位10報程度を記述してください。）

【研究期間中に発表した論文】

No	論文名・著者名・発行年・ページ数等	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	A. Tanaka, A. Koizumi, H. Imai, S. Hiramatsu, E. Hiramoto and B. de Gelder: I feel your voice: Cultural differences in the multisensory perception of emotion, <i>Psychological Science</i> , 21, pp. 1259-1262, 2010	話者映像と音声のそれぞれが持つ情動情報がどのように統合処理されて知覚されるかを、文化差による処理の違いも含めて報告。	75
2	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, <i>PLoS ONE</i> , 4, e8188, 2009	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る聴覚誘導性視覚運動知覚（sound induced visual motion: SIVM）を世界に先駆けて報告。	38
3	Y. Suzuki, J. Gyoba and S. Sakamoto: Selective effects of auditory stimuli on tactile roughness perception, <i>Brain Research</i> , 1242, pp.87-94, 2008	触覚における粗さ知覚が、同時に提示される聴覚情報の特性によって変化するという触覚と聴覚の統合処理過程を報告。	32
4	W. Teramoto, S. Hidaka and Y. Sugita: Sounds move a static visual object, <i>PLoS ONE</i> , 5, e12255, 2010	高さの異なる二音と同期して移動する視聴覚刺激を見続けると、その後提示された静止視聴覚刺激が、その二音に対応して動いて知覚される聴覚随伴性視覚運動知覚（sound contingent visual motion perception: SCVM）を世界に先駆けて報告。	18
5	S. Hidaka, W. Teramoto, Y. Sugita, Y. Manaka, S. Sakamoto and Y. Suzuki: Auditory motion information drives visual motion perception, <i>PLoS ONE</i> , 6, e17499, 2011	聴覚誘導性視覚運動知覚（SIVM）の生起メカニズムに着目し、提示される聴覚情報の位置ではなく動きが SIVM に寄与することを実験で検証。	18
6	A. Koizumi, A. Tanaka, H. Imai, S. Hiramatsu, E. Hiramoto, T. Sato and B. de Gelder: The effects of anxiety on the interpretation of emotion in the face-voice pairs, <i>Experimental Brain Research</i> , 213, pp. 275-282, 2011	話者の映像と音声のそれぞれが持つ情動情報の知覚統合処理過程において、受け手の心理状態により統合処理の傾向が異なることを報告。	18
7	P.M.Grove and K.Sakurai: Auditory induced bounce perception persists as the probability of a motion reversal is reduced, <i>Perception</i> , 38, pp.951-965, 2009	2種の移動物体の運動知覚様相が音の有無で通過/衝突に変容する Stream/Bounce effect において、視覚刺激の移動軌跡の違いと効果の生起率の違いを報告。	14
8	W. Teramoto, Y. Manaka, S. Hidaka, Y. Sugita, R. Miyauchi, S. Sakamoto, J. Gyoba, Y. Suzuki and Y. Iwaya: Visual motion perception induced by sounds in vertical plane, <i>Neuroscience letters</i> , 479, pp. 221-225, 2010	聴覚誘導性視覚運動知覚（SIVM）が提示される視覚刺激の方向に依存した現象ではなく、水平、垂直のいずれの方向でも生起することを報告。	14
9	A. Tanaka, S. Sakamoto, K. Tsumura and Y. Suzuki: Visual speech improves the intelligibility of time-expanded auditory speech, <i>NeuroReport</i> , 20(5), pp.473-477, 2009	時間伸長音声と通常速度の話者映像を組み合わせ提示した際に、視聴覚刺激のずれが生じていても話者映像の読唇効果が観察されることを報告。	13
10	S. Hidaka, M. Nagai, A. B. Sekuler, P. J. Bennett and J. Gyoba: Inhibition of target detection in apparent motion trajectory, <i>Journal of Vision</i> , 11, pp. 1-12, 2011	仮現運動する視覚刺激が、ターゲット検出課題などの比較的低次な視覚情報処理過程に影響を及ぼすことを報告するとともに、そのメカニズムを検証。	12

【研究期間終了後に発表した論文】

No	論文名・著者名・発行年・ページ数等	日本語による簡潔な内容紹介	引用数
1	P. Majdak, Y. Iwaya, T. Carpentier, R. Nicol, M. Parmentier, A. Roginska, Y. Suzuki, K. Watanabe, H. Wierstorf, H. Ziegelwanger and M. Noisternig: Spatially oriented format for acoustics: A data exchange format representing head-related transfer functions, <i>Audio Engineering Society Convention</i> , 134, 2013	3次元音響システム構築に多用される, 聴取者の周りの音源から両耳までの音伝達特性(頭部伝達関数, HRTF)のデータ表現フォーマットを埒, 仏, 独, 日による国際共同研究により提案した論文。	26
2	Y. Kawachi, P.M. Grove, K. Sakurai: A single auditory tone alters the perception of multiple visual events, <i>Journal of Vision</i> , 14(8), pp. 1-13, 2014	単一の音刺激が複数の通過/反発刺激の知覚を変容させることを実証し, 多感覚統合における聴覚刺激の効果の大きさが従来の知見より大きいことを解明。	22
3	S. Koyama, K. Furuya, Y. Hiwasaki, Y. Haneda and Y. Suzuki: Wave field reconstruction filtering in cylindrical harmonic domain for with-height recording and reproduction, <i>IEEE/ACM Trans. on Audio, Speech, & Language Processing</i> , 22(10), pp. 1546-1557, 2014	遠隔地の高臨場感会議システムに有効と考えられ, アクティブリスニングに対応しうる円筒座標系に基づく高精細音場情報共有技術の提案。	11
4	K. Watanabe, Y. Iwaya, Y. Suzuki, S. Takane and S. Sato: Dataset of head-related transfer functions measured with a circular loudspeaker array, <i>Acoust. Soc. & Tech.</i> , 35(3), pp.159-165, 2014	聴取者の周りの音源から両耳までの音伝達特性(頭部伝達関数, HRTF)の105人210耳データの測定方法と測定結果の評価結果を記した論文。	10
5	S. Sakamoto, S. Hongo and Y. Suzuki: 3D Sound-Space Sensing Method Based on Numerous Symmetrically Arranged Microphones, <i>IEICE Trans. on Fund. Elect., Comm. and Comp. Sci.</i> , 97(9), pp.1893-1901, 2014	多チャンネル球状マイクロフォンアレイと聴取者の周りの多数の音源の頭部伝達関数に基づいて, 高精細音空間集音, 再生を行う独自のシステム設計法を記した論文。	10
6	P. M. Grove, J. Ashton, Y. Kawachi, K. Sakurai: Auditory transients do not affect visual sensitivity in discriminating between objective streaming and bouncing events, <i>Journal of Vision</i> , 12(8), 1-11, 2012	通過/反発事象の多義性を対象のドット密度差で制御して信号検出理論を適用した結果, 音刺激による反発知覚の増加は感度(d')ではなく判断基準(c)の変化によることを解明。	10
7	W. Teramoto, S. Sakamoto, F. Furune, J. Gyoba, and Y. Suzuki: Compression of auditory space during forward self-motion, <i>PLoS ONE</i> , 7, e39402, 2012	直線加速度運動中時には, 進行方向の音空間が加速度に比例して圧縮して知覚され, さらに, この現象が前進運動時にのみ見られるという興味深い結果を報告。	8
8	M. Kobayashi, W. Teramoto, S. Hidaka. and Y. Sugita: Indiscriminable sounds determine the direction of visual motion, <i>Scientific reports</i> , 2, 365, 2012	聴覚随伴性視覚運動知覚(SCVM)が, 物理的に異なるが知覚的に識別不可能な音を提示した場合でも成立することを報告。	8
9	M. Kobayashi, W Teramoto, S. Hidaka. and Y. Sugita: Sound frequency and aural selectivity in sound-contingent visual motion aftereffect, <i>PLoS ONE</i> , 7, e36803, 2012	聴覚随伴性視覚運動知覚(SCVM)が, 音の周波数や音が提示される耳に対して鋭敏な選択性をもって成立することを報告。	6
10	S. Sakamoto, S. Hongo, T. Okamoto, Y. Iwaya and Y. Suzuki: Sound-space recording and binaural presentation system based on a 252-channel microphone array, <i>Acoust. Sci. & Tech.</i> , 36(6), pp. 516-526, 2015	上記論文5を252chチャンネル球状マイクロフォンアレイを用いて実時間動作を実現した成果を記した論文。日本音響学会の第57回佐藤論文賞(2017.3)受賞。	4

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報

次の(1)、(2)の項目ごとに、該当する内容について具体的かつ明確に記述してください。

(1) 研究成果の社会への還元状況（社会への還元の程度、内容、実用化の有無は問いません。）

・産学連携：本特別推進研究及び後継研究の成果の実用化を目指し、次のような共同研究が行われている
本研究プロジェクトを通して培ってきた、音空間知覚に対応した高精度 3 次元音空間システム構築技術基盤は各種音響機器メーカーにも注目され、企業との共同研究として音空間収録、再現の両方に関する高度化、実用化が進行中である。例えば、高次 Ambisonics に基づく音空間再現手法に関しては、車室内で運転席と助手席のそれぞれで最適な音空間を提示するための技術としてカーオーディオメーカーとの研究が進んでいるほか、他のオーディオメーカーでは我々が当時世界最高次数の 5 次を実現した 157ch 高次アンビソニクス高精細音空間再生システムを参考としたシステム構築を進めている。また、音源の定位位置操作に関する特許の企業への譲渡が行われている。集音技術に関しても、球状マイクロフォンアレイを用いたアレイ近傍以外での音空間情報取得技術や、複数アレイを用いたアレイオブアレイ技術の研究がそれぞれ大手通信事業会社、および、大手音響計測器メーカーとの共同研究として実用化を念頭に進められ、アレイオブアレイ技術に関するその成果の一端について 2016 年 9 月にプレス発表を行うなど、実際に成果も上がっている。

・URCF 会長 <http://www.urcf.jp/>

超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム (URCF) は、高い臨場感を有する情報メディアを実現するための技術開発や情報交換、異分野交流を目的として 2007 年 3 月に設立された組織であり、この分野に関連する約 90 社が会員となり、大学など学術分野の研究者約 200 名が特別会員として参加している。研究代表者の鈴木は、設立当初から 5 年間、空間音響技術に関する分科会長として活動したが、本特別推進研究が終了した直後の 2012 年 6 月から 16 年 6 月までの 4 年間は会長としてフォーラムを牽引すると共に、総会やセミナー等の場で、本研究プロジェクトの研究成果の普及にも努めてきた。2016 年 6 月からは諮問委員会の委員長として、引きつづき活動を進めている。また、分担者の岩谷幸雄と坂本修一は本フォーラムの特別会員として、本音響分科会の活動に積極的に取り組み、本研究プロジェクトの成果の普及に取り組んでいる。

・HRTF データセット <http://www.riec.tohoku.ac.jp/pub/hrtf/index.html>

HRTF (head-related transfer function) は、頭部伝達関数とも呼ばれ、自由空間内のある位置にある音源から両耳までの音伝搬特性を表すもので、身体形状に強く依存することから個人性が強い。人間は HRTF とその両耳間差を用いて、基本的な 3 次元音空間知覚を行っていると考えられる。本特別推進研究でも重要な研究項目となっていた。このデータセットは、本特別推進研究の成果を含む 105 名 210 耳の HRTF を学術研究用に無償で公開しているもので、2014 年 3 月 11 日の公開以来、2,873 件のアクセスと 24,432 件のダウンロードが行われている。

・アウトリーチ活動（公開授業・講演、出前授業等）：下記の通り積極的に行ってきた
超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム音響分科会デモセッション（2013. 1. 31）

「32ch スピーカ H0A 音場再生技術を用いた 3 次元視聴覚情報提示システム」

東北大学サイエンスカフェ（2014. 8. 23）<http://cafe.tohoku.ac.jp/cafe/special/140823.html>

音楽と科学の午後「3 次元空間の科学 ～臨場感とは？それを実現する音響工学技術とは？～」

仙台一高スーパーサイエンススクール講演（2014. 12. 15）

「3 次元音空間の科学と工学～臨場感の理解深化とそれを実現する情報工学技術」

日本音響学会東北支部創立 60 周年記念講演会（2015. 9. 15）

「いのちを守る屋外拡声システム」

<http://asj-tohoku.acoustics.jp/%e6%9d%b1%e5%8c%97%e6%94%af%e9%83%a8%e3%81%ae%e3%81%82%e3%82%86%e3%81%bf/>

会津学鳳スーパーサイエンススクール出前講義（2015. 10. 10）

「3 次元音空間の科学技術 —3 次元音空間知覚の多感覚性とそれに基づく高感性音響技術—」

知の拠点セミナー（2016. 1. 15）<http://www.kyoten.org/seminar52.html>

「マルチモーダル感覚情報処理過程の理解に基づく高感性聴空間システムの構築」

東北大学オープンキャンパス公開授業（2016. 7. 28）<http://www.eng.tohoku.ac.jp/open/2016/eipe.html>

「リビングルームを S 席に ～高感性 3 次元音空間技術の構築～」

東北大学サイエンスカフェ（2016. 10. 1）<http://cafe.tohoku.ac.jp/cafe/special/161001.html>

音響学と音楽のひとつとき「ホールの形と音の響き」

3. その他、効果・効用等の評価に関する情報（続き）

(2) 研究計画に関与した若手研究者の成長の状況（助教やポストク等の研究終了後の動向を記述してください。）

1) プロジェクトに分担者として参加した助教

- ・田中章浩 東京女子大学現代教養学部人間科学科 教授
早稲田大学高等研究所助教として参画。2012年東京女子大学現代教養学部准教授を経て、2017年より現職。言語認知時の視聴覚情報統合過程、高次感性情報知覚過程等に関する研究を行う。Frontiers in Emotion Science 誌編集委員，日本認知科学会常任運営委員，日本認知科学会知覚と行動モデリング研究分科会主査。
- ・坂本修一 東北大学電気通信研究所 准教授
東北大学電気通信研究所助教として参画，2011年より現職。聴覚及びマルチモーダル情報処理過程とシステム応用に関する研究に従事。日本音響学会理事，同学会編集委員会編集委員幹事，聴覚研究会幹事，電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究専門委員会副委員長。第57回日本音響学会佐藤論文賞（2017年）受賞。

2) プロジェクト雇用の研究員

- ・柴田寛 東北文化学園大学医療福祉学部リハビリテーション学科 准教授
2011年科研費研究員として参画。2012年東北文化学園大学講師を経て2016年より現職。日本認知心理学会将来計画委員会委員，東北心理学会第69回大会準備委員会事務局長を勤める。
- ・寺本渉 熊本大学文学部総合人間学科 准教授
2008年から科研費研究員，2011年室蘭工業大学助教として参画。2012年同准教授を経て，2015年より現職。日本バーチャルリアリティ学会心理学研究委員会委員，2011年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞。
- ・本多明生 山梨英和大学人間文化学部人間文化学科および同大学院准教授 准教授
2008年からいわき明星大学助手，2011年科研費研究員として参画。2012年東北福祉大学助教を経て2014年現職。日本感情心理学会第21回大会独創研究賞（2013年）受賞。
- ・崔正烈 東北大学電気通信研究所 助教
2009年から科研費研究員として参画。2012年東北大学産学官連携研究員等を経て，2015年より現職。2013年に船井情報科学振興財団 FIT 船井ベストペーパー賞を受賞。日本バーチャルリアリティ学会誌委員。
- ・小林まおり 北陸先端科学技術大学院大学人間情報処理領域 研究員
2007年から科研費研究員として参画。2011年に明治大学研究知財戦略機構研究員を経て現職。

3) プロジェクトに参画した大学院生（博士取得者のみ）および研究者

- ・日高聡太 立教大学現代心理学部心理学科 准教授
2009年から大学院生（学振特別研究員），2010年立教大学助教として参画。2012年より現職。日本バーチャルリアリティ学会論文賞（2011年），日本基礎心理学会第30回大会優秀発表賞（2012年）受賞。
- ・大谷真 京都大学工学研究科建築学専攻 准教授
2008年からGlobal COE 研究員，2009年信州大学助教，2011年同准教授として参画。2014年より現職。日本音響学会編集委員，電気音響研究会，建築音響研究会幹事。Best Technical Paper Award (22nd ICCE) 受賞。
- ・河地庸介 東北福祉大学総合福祉学部福祉心理学科 准教授
2008年から大学院生、2010年東北福祉大学特任講師として参画。2017年より現職。NTT コミュニケーション科学基礎研究所客員研究員。
- ・岡本拓磨 情報通信研究機構 研究員
2008年から大学院生，2009年Global COE 研究員として参画。2012年より現職。日本音響学会編集委員，第32回栗屋潔学術奨励賞(2012年)，第57回佐藤論文賞(2017年)受賞。
- ・TREVINO, Jorge 東北大学電気通信研究所 助教
2008年から大学院生として参画。ポストク研究員を経て2015年より現職。日本音響学会学生・若手フォーラム幹事，電子情報通信学会応用音響研究会幹事補佐。日本音響学会第37回栗屋潔学術奨励賞（2015年）受賞。
- ・韓喆洙 清州大学（韓国） 助教授
2009年から大学院生として参画。2015年より現職。韓国情報技術学会優秀論文発表賞（2016年）受賞。
- ・浅川香 三菱電機株式会社情報技術総合研究所 研究員
2008年から2011年まで大学院生として参画。2015年より現職。メディアシステム技術部聴覚情報表現技術グループにて音の感性評価に関する研究に従事。
- ・鈴木結花 花王株式会社感性科学研究所 研究員
2008年から大学院生，2011年学振特別研究員（PD）として参画。2012年東北大学助教，2013年から現職。日本基礎心理学会第31回大会（2012年）優秀発表賞受賞。