

色覚研究の最新動向 "Advances in Color Vision"参加報告

東京工業大学大学院 総合理工学研究科 内川 恵二

米国光学会 (Optical Society of America) 主催の Topical Meeting "Advances in Color Vision" が日本光学会 (OSJ) との共催で1992年1月31日 (金) ~2月1日 (土) にカリフォルニア大学のアーバイン校で開催された。この講演会はまた、ロチェスター大学とカリフォルニア大学サンディエゴ校で長年、色覚研究の分野で活躍してきた Dr. Boynton の退官記念講演会を兼ねるものとなった。講演会の参加者は110名あり、この数は OSA がこれまでに主催した Topical Meeting の第1回目としては異例の多さであったそうである。日本側からの参加者も約25名ほどあった。

Boynton (図1) は40年近く第一人者として視覚研究をリードし、Boynton の研究室で Ph.D. を取った学生あるいは数年間をすごした Postdoctoral Fellow は日欧米にわたり実に多い。Boynton は退官の時に自分の論文を全5巻の Annotated Visual Science Papers という論文集にまとめているが、その中から共著者の数を数え上げたら70名ほどになった。1教官当たりの学生数がそれほど多くない米国の大学制度を考慮すると、Boynton と研究上でかかわった人間が70名というのは大変な数であると思われる。それだけ Boynton は絶えず若い研究者を育て世に送りだしていたとい

うことであり、研究者としてだけでなく、教育者としても視覚研究におよぼした影響にははかり知れないものがある。ちなみに、Annotated Visual Science Papers には計116の論文と著作物が集められているが Boynton はその1つ1つにその論文が書かれた時のいきさつやら共著者との思い出話などを note として付記している。このような膨大な作業を難なくこなしてしまうところにも Boynton の誠実な緻密な研究態度が良く現われていると思う。共著者以外でも色覚研究者ならば必ずどこかで Boynton と親しくなることは珍しくなく、今回の学会の講演者の中にも Boynton の友人が数多く見られた。

北米で開催される視覚関係の学会の代表的なものとして、春には視覚研究会でも良く紹介されている ARVO (Association for Research in Vision and Ophthalmology) があり、秋に OSA の Annual Meeting がある。OSA 学会の視覚研究は

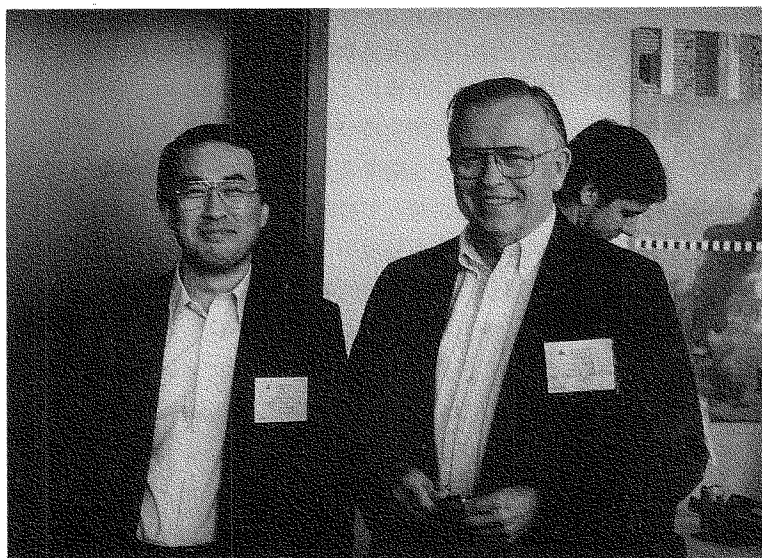


図1 Dr. R. M. Boynton (右) と筆者 (左)

毎年、かなりの講演数、参加者数を集めているが、今回の"Advances in Color Vision"はその視覚研究の中でも特に「色覚」に焦点を合わせた単独の講演会で、その名のとおり最新かつ新鮮な内容の講演が大半を占めた。講演は招待講演12件、一般講演60件の計72件、そのうち口頭発表が31件、ポスターが41件であった。図2にポスター会場の様子を示す。表1に講演者とタイトルをまとめた。以下にその中のいくつかの講演についてふれたいと思う。

第1日目の第1セッション(9:00-10:30am)「視細胞と視細胞モザイク」は招待講演が2件、一般講演が2件あった。視細胞に関する最近の研究には、心理物理学的手法を用いて錐体分光感度関数を正確に決定し、これまで提案されている関数の見直しを計ろうとするもの、最近の遺伝子技術を用いて人間の錐体視物質の種類と個数を明らかにしようとするもの、L、M、S錐体の網膜上での配置やその個数を求めようとするものがある。招待講演のWilliamsは彼らが行っているレーザー光の網膜上干渉縞法によって得られた網膜上のL、M、S錐体の空間配置とその結果起こる知覚現象について述べた。Stockmanはこれまでに報告されているSmith & Pokorny (1975), Vos & Walraven (1971), Walraven (1974), Estévez (1979), Vos,

Estévez & Walraven (1990), Stiles (1978) のL、M錐体の分光感度関数を比較し、どの関数が最も良く実験データにフィットするかを調べた。実験データとしては第一、第二色覚異常者のM、L錐体の分光感度を用いている。その結果、Smith & Pokorny のものが最も良くフィットし、他のものはM錐体の長波長側で分光感度が高すぎる評価をしていることがわかった。また、 2° CIE, CIE (Judd) と Stiles & Burch のそれぞれの等色関数の線形変換によって分光感度関数を導出してみると、Stiles & Burch の等色関数を用いた分光感度が最も良く実験データにフィットすることを見いだした。VosらのデータがフィットしなかったのはそもそもCIEの等色関数自体に問題があるからであることを指摘した。

第2セッションはポスターセッション(10:30-11:30 am)で会場のホールで行なわれた。発表件数は21件であった。「色覚の遺伝的基礎」の3件はいずれもレイリー等色とL、M錐体の分光感度の関係を調べたもので、Neitzらは色覚正常者でも3種類以上の視物質を持つことの可能性を示した。これはYoung-Helmholtzの三色説以来、人間の色覚をもたらず視物質は3種類と信じてきた我々の常識をくつがえすような発見であり、最近の遺伝子技術の生んだ大

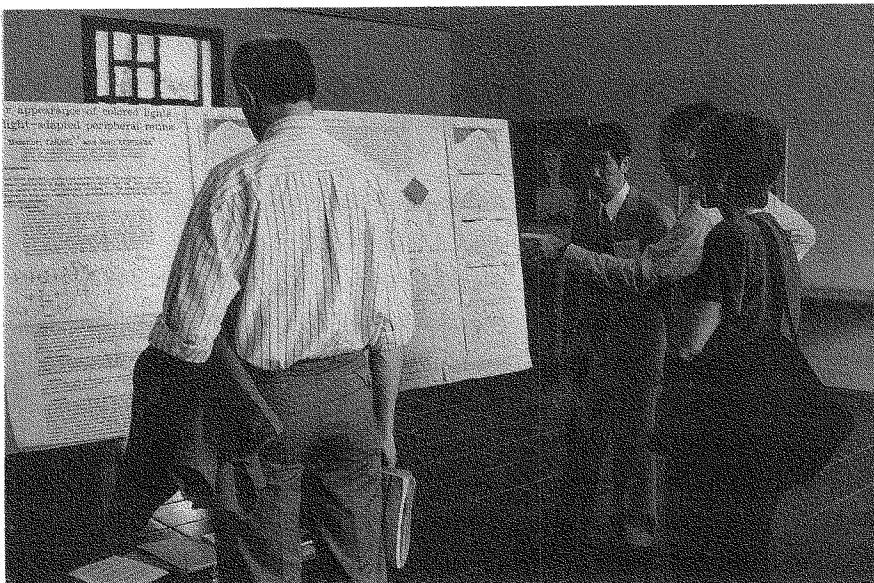


図2 ポスター会場風景

きな成果であろう。「視細胞」の8件のうち、Otakeらは二色閾値法を用いた小視野短時間呈示のテスト刺激光の検出知覚確率曲線から周辺網膜のL錐体とM錐体の個数の比を求め、これまでにCiceroneらが示した中心窩でのL:M=2:1の関係が視角17°の周辺網膜まで成立することを明らかにした。「色覚異常」については6件の発表があった。「中枢メカニズム」の2件のうちSatoらはサッケード前、中、後の分光感度を増分閾値法により測定し、サッケード中では色チャンネルよりも輝度チャンネルの方がより強く抑制されることを見つけた。また、Ciceroneらはダイナミックネオンカラーと称する新しいドットパターンによる現象をカラーCRT上を用いてデモンストレーションした。これは動きによって決まる主観的輪郭内にネオンカラーが広がると同時に奥行き知覚がなくなるという現象で、視覚系が動き、色、形、奥行きといった次元を並列複数チャンネルによって別々に処理し統合している証拠になるものである。「輝度と色伝達経路における感度決定要因」では2件の発表があった。

第3セッション「中枢色覚メカニズム」(11:30am-1:00pm)は、招待講演が2件、一般講演が2件あった。これらの講演はすべて生理学であり、生理学的手法によって中枢レベルでの色覚メカニズムの解明がかなり進んでいることを反映している。Lennieは色恒常性をもたらす細胞の特性、赤緑反対色信号と輝度信号の分離、色テクスチャーをあらわす単一細胞について生理学的立場から解説した。

第4セッション「感度、明るさ、明度」(2:00-3:45pm)は、招待講演が2件、一般講演が3件あった。このセッションでは色覚メカニズムの基本的な特性である順応レベルに対する刺激検出感度や刺激の明るさ知覚の問題が議論された。Ikedaは明所視から簿明視、暗所視に至る広範囲の照明レベルでの表面色の明るさは等価明度を用いて表現できることを示し、Finkelsteinは感度決定のメカニズムについて述べた。Nakanoは新しい明るさ知覚の非線形モデ

ルを提案し、分光感度の個人差までうまく説明した。

第5セッション「色恒常性」(4:00-5:45pm)は、招待講演が1件、一般講演が5件あった。色恒常性は色覚の中でも最近最も活発に研究が行なわれているホットな分野である。色覚のメカニズムの研究も網膜レベルから次第に高次中枢レベルを対象とするようになると必然的に色覚も物体の認識と切り離せなくなり、その流れの中で照明光に影響されない物体表面の認識である色恒常性の問題に突き当たっていること、また、画像認識において複雑な背景から認識対象を切り出すために色恒常性のメカニズムを利用したいという希望があることがその大きな理由であろう。このセッションでは色恒常性の実験的研究が6件のうち4件もあり、計算論的なアプローチだけではなく実験的な研究を重視していこうとする最近の研究動向が現われている。

第1日目は7:00pmより懇親会が講演会会場のホールでおこなわれた。今回の講演会の実行委員長であるCicerone(図3)の開会の言葉に続いて、池田光男日本光学会会長の挨拶があった。今回のOSAとOSJの共催のTopical Meetingが実現したいきさつなどが紹介された。その後はMacLeodやEskewなど、Boyntonと縁のある人々による挨拶が続いた。最後にBoyntonの話しがあったが、われわれの期待に反して(期待どおり?)話しの内容はBaseBall(色であった。Boyntonは退官後、完全にVisionの研究から離れ、そのかわり昔からやりたいと思っていたBaseBallの研究に没頭しているそうである。

第2日目の第6セッション「色弁別I」(9:00-10:30am)は、招待講演が3件あった。招待講演のNagyは錐体の感度と直接関係しているMacLeod-Boyntonの色度図上で色弁別閾値を表わし、そのメカニズムについて解説した。

第7セッションはポスターセッション(10:30-11:30am)で20件の発表があった。「アクロマティック経路」で5件の発表のうち、Shinomoriらは空間的黒み誘導がこれまで言わ

れていたように輝度チャンネルだけで決まるのではなく、色チャンネルも黒み誘導に寄与するという新しい実験結果を報告した。Ishidahaらはサッケード前後の視野の変位の検出を等輝度刺激を用いて検討した。「色の見え」では6件の発表があった。Takaseらは明順応下での周辺視野での色の見えは、これまでのほとんどのデータが示している暗順応下の見えほど劣化しないことを示した。Mommaらは薄明視での色の見えをシュミレートするシステムを開発した。「色覚モデル」では4件、「色覚の応用」では5件の発表があった。

第8セッション「色弁別 II」(11:30am-1:00pm)は、招待講演が1件、一般講演が4件あった。Uchikawaは招待講演で記憶による色弁別について最近の研究結果を示し、色覚中枢レベルでは色は11の基本色によるカテゴリカーに対応するように分割処理されていることを示唆した。

第9セッション「空間表現：輝度と色の境界」(2:00-3:15pm)では招待講演が1件、一般講演が3件あった。Kaiserは招待講演でBoyntonと共にはじめたMDBの研究について現



図3 Dr. C. M. Cicerone

在までの研究成果をまとめ、さらに最近では単一細胞の応答など生理学的にMDBの研究が発展していることを述べた。

色覚研究は視覚の研究の中でも最も歴史が長い。それだけに心理物理学をはじめ生理学、計算論、工学、医学など多方面で研究の蓄積が多い。最近特に研究のスピードが速くなっている。「色覚」に焦点を合わせた学会をより頻繁に開催してほしいという希望は多く、今回の学会が盛況であったのもこのような背景があるからであろう。日本でも色覚に限らず視覚関係の研究に対する学界、社会での関心がますます高まって来ている。今回この学会に参加して強く感じたのは、日本でもこの視覚学会がこのような色々な方面でのニーズに答えられるような学会に発展し、将来、視覚学会が中心になって国際的な Topical Meeting が開けるようになってほしいということであった。最後に、写真撮影をしていただいた東京工業大学大学院総合理工学研究科知能科学専攻の佐藤雅之君に感謝したい。

表1 講演者とタイトル

第1セッション：「視細胞と視細胞モザイク」
(PHOTORECEPTORS AND THE PHOTORECEPTOR MOSAIC)

- Spectral sensitivity and light adaptation in primate photoreceptors, J. L. Schnapf, T. W. Kraft, UC-San Francisco; D. A. Baylor, Stanford Univ. (招待)
- Perceptual consequences of the trichromatic cone mosaic, David R. Williams, Univ. Rochester. (招待)
- Spectral sensitivities of the middle-wavelength and long-wavelength sensitive cones, Andrew Stockman, UC-San Diego.
- Adaptation of human cone receptors: recordings of cone a-waves, Donald C. Hood, Columbia Univ.; David G. Birch, Retina Foundation of the Southwest.

第2セッション (ポスターセッション)

「色覚の遺伝的基礎」(The Genetic Basis for Color Vision)

- Molecular genetic basis of polymorphism in normal color vision, Jay Neitz, Maureen Neitz, Medical College of Wisconsin; Gerald H. Jacobs, UC-Santa Barbara.
- Individual differences in Rayleigh matches are related to differences in L-cone pigment structure, Delwin T. Lindsey, Joris Windericks, Elizabeth Sanocki, Davida Teller, Samir S. Deeb, Arno G. Motulsky, Univ. Washington.
- Dual Rayleigh like color matches sensitive to individual differences in cone photopigments, Steven K. Shevell, J. Chang He, Univ. Chicago.

「視細胞」(Photoreceptors)

- Relative abundance of cone types: analysis of absolute threshold evidence, Christopher W. Tyler, Lei Liu, Smith-Kettlewell Eye Research Institute.
- Effects of chromatic adaptation and M-scaling on color perception as a function of eccentricity in man, Antti Iivanainen, Antti Raninen, Univ. Helsinki, Finland; Jyrki Rovamo, Univ. Aston, U.K.
- What causes linearity failure in color matching? Stephen A. Burns, A. E. Eisner, Eye Research Institute of the Retina Foundation.
- Four separate mechanisms for interaction between redcones and rods, Thomas E. Frumkes, CUNY-Queens College.
- Relative numbers of L and M-cones in peripheral retina, Shiro Otake, Carol M Cicerone, UC-Irvine.
- Racial difference of blue-sensitive mechanism, Michael L. Daley, Memphis State Univ.; George A. Burghen, Univ. Tennessee-Memphis; David Meyer, Paul Malsky, Vitreoretinal Foundation.
- Are cones independent at detection threshold? Joel Pokorny, Steven K. Shevell, Vivianne C. Smith, Jennifer Hasenyager, Univ. Chicago.
- Isolation of color mechanisms using a silent

substitution method, Vo Van Toi, Tufts Univ; C. W Burckhardt, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland; P. A. Grounauer, Univ Lausanne, Switzerland.

「色覚異常」(Color Deficiencies)

- Chromatic Stiles-Crawford effect in normal and anomalous trichromatic color vision, Pieter L Walraven, Institute for Perception-TNO, The Netherlands.
- Early detection of retinal disorders by color vision tests: a comparative study of electrophysiological and psychophysical results, A Bayer, H-J Thiel, E Zrenner, Tuebingen University Eye Hospital, Germany.
- Geometric relationship between the color spaces of normal and anomalous trichromats, Hans-Gunther Wegner, Univ. Duisburg, Germany.
- Analysis of normal and dichromatic color vision by multilayered neural networks, Shiro Usui, Shigeki Nakauchi, Toyohashi Univ., Japan.
- Confusion lines of protanopes and deuteranopes, Glenn A. Fry, Ohio State Univ.
- Testing for acquired color vision deficiencies in patients receiving hydroxychloroquine (Plaquenil) therapy, Lynn Cyert, Northeastern State Univ.

「中枢メカニズム」(Central Mechanisms)

- Spectral sensitivity by increment threshold during saccades, Masayuki Sato, Keiji Uchikawa, Tokyo Institute of Technology Graduate School, Japan.
- Dynamic neon colors: perceptual evidence for parallel visual pathways, Carol M. Cicerone, Donald D Hoffman, UC-Irvine.

「輝度と色伝達経路における感度決定要因」(Determinants of Sensitivity in Luminance and Chromatic Pathways)

- Lightness constancy and adaptation to illumination varying as a temporal sinusoid, Steven

S. Shimozaki, James P. Thomas, UC-Los Angeles.

● Contrast sensitivity for isoluminant and isochromatic interference fringes, Nobutoshi Sekiguchi, David R. Williams, Univ Rochester; David H. Brainard, UC-Santa Barbara.

第3セッション：「中枢色覚メカニズム」 (CENTRAL CHROMATIC MECHANISMS)

● Color processing in visual cortex, Charles Gilbert, Rockefeller Univ. (招待)

● Roles of central chromatic mechanisms, Peter Lennie, Univ. Rochester. (招待)

● Effect of selective visual system lesions on the processing of wavelength information in rhesus monkeys, Peter H. Schiller, Robert P Dolan, Massachusetts Institute of Technology.

● Basic building blocks of color vision: a generalized view of the opponent colors transformation, Gershon Buchsbaum, Joel B Derrico, Univ. Pennsylvania.

第4セッション：「感度，明るさ，明度」 (SENSITIVITY, BRIGHTNESS, AND LIGHTNESS)

● Effects of backgrounds on sensitivity and brightness, Mary M. Hayhoe, Univ. Rochester. (招待)

● Equivalent lightness of colored charts at various illuminance levels, Mitsuo Ikeda, Kyoto Univ., Japan. (招待)

● Additivity of rod and cone signals: the influence of Boynton, Ikeda, and Stiles, Steven L. Buck, Roger Knight, Univ. Washington.

● Detection and adaptation within a longwavelength cone pathway, Marcia A. Finkelstein, Univ. South Florida.

● New model for brightness perception, Yasuhisa Nakano, Tokyo Institute of Technology Graduate School, Japan.

第5セッション：「色恒常性」(COLOR CONSTANCY)

● Quasi-mechanistic accounts of color constancy, Donald I. A. MacLeod, UC-San Diego. (招待)

● Color constancy: adaptation to the illumination environment, Michael D'Zmura, Geoffrey Iverson, UC-Irvine.

● Saturation and color constancy, Richard O Brown, Donald I. A. MacLeod, UC-San Diego.

● Chromatic adaptation and color constancy, Mark D. Fairchild, Rochester Institute of Technology.

● Color constancy, Adam Reeves, Northeastern Univ.; Lawrence E. Arend, Eye Research Institute of the Retina Foundation.

● Additional constancy data obtained with the color matching method, Jimmy M. Troost, Charles M. M. de Weert, Univ. Nijmegen, The Netherlands.

第6セッション：「色弁別1」(COLOR DISCRIMINATION 1)

● Adaptation and color discrimination, John Krauskopf, New York Univ. (招待)

● Color discrimination measures and mechanisms in varying viewing conditions, Allen L. Nagy, Wright State Univ. (招待)

● Chromatic discrimination and the Boynton-Kambe formulation, Vivianne C. Smith, Joel Pokorny, Univ Chicago. (招待)

第7セッション (ポスターセッション)

「アクロマティック経路」(The Achromatic Pathway)

● Brightness-to-luminance ratio, saturation, and hue of colored lights, Miyoshi Ayama, Tokyo Metropolitan Institute for Neurosciences, Japan; Mitsuo Ikeda, Kyoto Univ., Japan.

● Spatial blackness induction at different blackness levels, Keizo Shinomori, Yasuhisa Nakano, Keiji Uchikawa, Tokyo Institute of Technology Graduate School, Japan.

● Threshold displacement size for perceiving a stable stimulus across saccades: effects of equiluminance, Taiichiro Ishida, Hiroyuki Shinoda, Mitsuo Ikeda, Kyoto Univ.

● Possibility of visually significant intraocular photoluminescence, Gillray L. Kandel, Neil H. Eklund, John Schroeder, Rensselaer polytechnic Institute.

● Dynamic response of the human pupil to monochromatic flash light in dim adapted condition: a preliminary examination, Takeru Ken Watanabe, Tokyo Science Univ., Japan.

「色の見え」(Color Appearance)

● Color appearance of colored light at light adapted peripheral retina, Masanori Takase, Keiji Uchihawa, Tokyo Institute of Technology Graduate School, Japan.

● Perception of translucent colors with binocular parallax, Katsunori Okajima, Masanori Takase, Sumio Takahashi, National Defense Academy, Japan.

● Color appearance of objects at high illuminance in natural environment, Tsutomu Shibata, Ronald C. Henry, Univ. Southern California.

● Topological factors in neon color spreading, Marc K Albert, Donald D Hoffman, UC-Irvine.

● Color appearance and color reproduction for mesopic vision, C. Momma, S. Honma, H. Yaguchi, H. Haneishi, Y. Miyake, Chiba Univ., Japan.

● Use of the single-hue naming method in the determination of elemental hues, David L. Miller, Bill R. Wooten, Brown Univ.

「色覚モデル」(Models of Color Vision)

● Nonlinear transformation of color coordinates for color reproduction by a three-layered neural network, Yoshifumi Arai, Yoshiki Nakano, Tetsuo Iga, Tokyo Ink Manufacturing Co. Ltd., Japan; Shiro Usui, Toyohashi Univ. Technology, Japan.

● Increment-decrement differences in

multiplicative gain control, Rainer J. Mausfeld, Reinhard M. Niederee, Univ. Bonn, Germany.

● Chromaticity diagram demonstrating both cone excitation and color opponency, Horst Scheibner, Univ. Dusseldorf, Germany.

● How much information is available at the human retina level concerning color perception: comparison of psychophysical and model data, Robert Siminoff, Institut fur Arbeitsphysiologie, Germany.

「色覚の応用」(Applications of Color Vision)

● Readability of colored teletexts and visual color responses of the aged and the young at different viewing distances, Takashi Hasegawa, Miyuki Kadowaki, Univ. Sacred Heart, Japan.

● Color segmentation method for image registration in automatic face recognition, Tsutomu Sasaki, Shigeru Akamatsu, Yasuhito Suenaga, NTT Human Interface Laboratories, Japan; Hideo Fukamachi, NTT Software Corp., Japan.

● Design of a color information processing system with spectral responses similar to human eyes, Kazuo Yamaba, Mechanical Engineering Laboratory-AIST-MITI, Japan; Yoichi Miyake, Chiba Univ., Japan.

● Color image analysis by a vector subspace method, S. Toyooka, S Izawa, N. Hayasaka, H. Kadono, Saitama Univ, Japan; T. Jaaskelainen, Univ Joensuu, Finland.

● Psychological evaluation of colored images, Keishiro Takeichi, Industrial Products Research Institute, Japan.

第8セッション：「色弁別 2」(COLOR DISCRIMINATION 2)

● Categorical characteristics of color discrimination in memory, Keiji Uchikawa, Tokyo Institute of Technology Graduate School, Japan. (招待)

● Constancy of equiluminant red-green thresholds

examined in two color spaces, Rhea T. Eskew, Jr., Northeastern Univ; Charles F. Stromeyer, III, Richard E. Kronauer, Harvard Univ.

● Indeterminacy of a privileged coordinate frame based on discrimination measures analysis and experimental tests, Kenneth Knoblauch, The Lighthouse, Inc.; Laurence T. Maloney, New York Univ.

● Combination of signals from opponent color mechanisms, Qasim Zaidi, Arthur G Shapiro, Columbia Univ.

● Discrimination ellipsoid of surface color, Tarow Indow, UC-Irvine.

第9セッション「空間表現：輝度と色の境界」
(SPATIAL REPRESENTATION: LUMINANCE AND CHROMATIC BORDERS)

● Minimally distinct border 1824-1990: a tribute to RMB, Peter K. Kaiser, York Univ, Canada. (招待)

● Spatial reconstruction of signals from short-wavelength cones, David H. Brainard, David R. Williams, Univ. of Rochester.

● Measurements of afterimages and minimum grating, Eugenio Martinez-Yriegas, SRI International.

● Luminance is the intensity dimension of shading, Satoshi Shioiri, Shoichi Sunaga, Shoichi Kubo, Chiba Univ., Japan.