

空間知覚の理解へ向けて —イアン・ハワード先生の研究から学ぶこと—

近江 政雄*・金子 寛彦**・松宮 一道***・佐藤 雅之****

* 金沢工業大学 情報フロンティア学部

〒924-0838 石川県白山市八東穂3-1

** 東京工業大学 総合理工学研究科

〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-G2-3

*** 東北大学 電気通信研究所

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

**** 北九州市立大学 国際環境工学部

〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1

1. はじめに

カナダ、ヨーク大学のイアン・ハワード先生(図1)が本年6月1日に逝去された。享年85歳であった。

ハワード先生は、眼球運動、ベクシオン(視覚誘導自己運動感覚)、両眼立体視などの研究



図1 Dr. Ian P. Howard (1927-2013). ウェブサイト (<http://dwellor.cvr.yorku.ca/meetings/IPH/index.html>)より許可を得て掲載。

2013年夏季大会。企画セッション。

分野に多くの業績を遺した。それらの研究はユニークなものが多く、世界中の研究者に大きな影響を与えたが、とりわけ日本には、先生の研究室、大学に在籍し、直接教えを受けた経験を持つ研究者が多く、ハワード先生が日本の視覚研究に与えた影響は非常に大きいと言える。そのような背景もあり、本年の視覚学会夏季大会において、ハワード先生への追悼の意を込めた特別セッションが企画された。本稿は、そのセッションの内容をまとめたものである。以下の2~5節は、4名のスピーカーがそれぞれ話した内容について記したものである。

2. ベクシオン(視覚誘導自己運動感覚)とOKN(Optokinetic nystagmus)

1980年代から、ハワード先生は人間の空間知覚、とくにベクシオンとOKNについての研究を精力的にすすめた。ハワード先生の関心は、実験室という特別な状況ではなく、Real world(実環境)においてベクシオンとOKNがどのように生起し、制御されるかのメカニズムにあった。Real worldにおける知覚特性は、すべての実験心理学者が関心をもつところであろうが、ハワード先生の他に類を見ないところは、Real worldにおける空間知覚を研究するための実験計画・装置・条件を綿密に設定すると

ともに、新しく装置を開発して、研究の実施を可能にしたことにある。ところで、Real worldにおいては、立体視においてよく知られているように、多くの手がかりが知覚に影響をおよぼす。ハワード先生は、手がかりの間に生じる複雑な相互作用によって知覚を説明するのではなく、本質的な手がかりに着目したSimpleなAccount(説明原理)を重視する研究哲学をもっていた。そして、筆者(近江)とともに、ベクシオンが背景の周辺視野に提示される情報によって生起され、それは視覚情報の中から自己についての情報を獲得するメカニズムによるというSimpleなAccountを実験的に証明した¹⁻³⁾。

ところで、ベクシオンの研究では、直立姿勢の被験者の周囲を内側に視覚刺激を貼付したドラムで覆い、重力の方向、すなわち垂直軸のまわりにドラムを回転させる装置が従来から使用されてきた。しかしながら、われわれは重力と一致しない軸のまわりにも回転することができる。したがって、Real worldでの空間知覚の研究として、垂直軸のまわりのベクシオンのみを対象とするのでは不十分である。そこでハワード先生は、Tumbling room(回転する部屋)を開発した(図2)。Tumbling roomとは、内部にテーブル・花瓶・本棚などの家具を備え付けた部屋を水平軸のまわりに回転させる装置であ

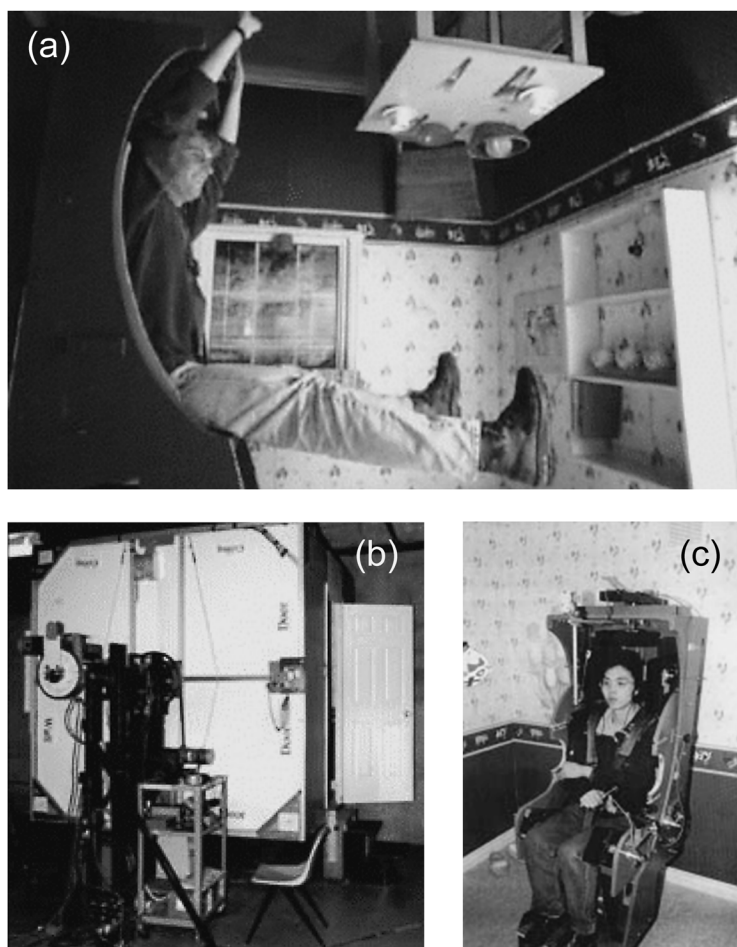


図2 Tumbling room(回転する部屋)。(a)内部の様子。(b)外側からみた装置の全体。(以上、ウェブサイト <http://mvl.mit.edu/Research/Neurovestibular/Pages/project2.html> より、Ms. Antonie Howardの許可を得て掲載)。(c)内部に座る被験者(Howard and Hu 2001, Pion Ltd, London, <http://www.pion.co.uk>⁶⁾の図3より)。

り、被験者を重力に対してさまざまな姿勢で部屋の中に固定することができる。特に興味深い研究テーマは、回旋軸のまわりのベクションである。水平の回旋軸のまわりに回転する視覚刺激を直立姿勢で観察すると、刺激の回転と逆方向のベクションが持続して生じるにもかかわらず、体の傾きについての知覚がある角度で停止するという不可思議な現象が生じるが、これは重力による体性感覚情報と視覚情報との間の矛盾によるものと考えられる。しかしながら、Tumbling roomの中では、被験者は回旋軸のまわりの持続したベクションと同時に、自分の体が360°回転し続けると知覚した⁴⁻⁶⁾。すなわち、Tumbling roomに明確に存在するDirection of“up”(上方向)についての視覚情報によって重力情報の寄与が抑制されることを、ハワード先生は明らかにしたのである。Tumbling roomを用いた研究結果は、宇宙環境における居住者のパフォーマンスを向上させるために適切な視覚情報を与えることの有効性を示すものでもある。

OKNは、われわれ自身の運動によって生じる網膜像の流れを相殺するための眼球運動である。ウサギなど両眼立体視をもたない動物では前進運動の方向と同方向のOKNのみが起こるが、人間などのOKNは双方向性である。これは、それぞれが逆の方向に優位性をもつ皮質下メカニズムと皮質メカニズムの双方によってOKNが制御されているためであるが⁷⁾、ハワード先生は、皮質メカニズムの役割は、対象物の詳細な情報処理に必須な注視を可能にするために、皮質下メカニズムによって自動的に生じるOKNを抑制することにある、というSimpleなAccountにもとづいて研究をすすめた。そして、OKNを起す視覚刺激の運動方向と直角な方位をもつ静止刺激によってOKNが抑制され、静止刺激が周辺視野に提示されるにつれてその効果が減少すること⁸⁻¹⁰⁾、また残像によっても抑制効果が生じることを、筆者らと共に明らかにした¹¹⁾。残像とOKN刺激との間にはボトムアップ情報であるRetinal slip(網膜像の

滑り)が生じないことから、皮質メカニズムによるOKN抑制は高次メカニズムからのトップダウン情報によるものと考えられ、ハワード先生は両眼視差による立体視メカニズムによってOKNが制御されることを実験的に明らかにした^{12,13)}。

ハワード先生の研究が空間知覚メカニズムの解明に大きく貢献するものであることは言うまでもないが、Real worldでの知覚への着目、実験計画・装置・条件の綿密な設定、新しい装置の開発、さらには本質的な情報に着目したSimpleなAccountの重視というハワード先生の研究哲学は、他の分野の知覚研究においても、われわれが常に心がけるべき遺訓である。

3. 垂直視差と回旋眼球運動

ハワード先生は1950年代から研究を開始したが、その当初から生涯を通して回旋眼球運動(torsional eye movements)に関する研究を行っている。回旋眼球運動とは視軸周りの眼球運動であり、通常は意識的に起こすことはできず、視線の動きを示すものでもないので、一般的にあまり興味を持たれない。しかしハワード先生は、その測定法も確立されておらず、存在すら明確に認識されていなかった時代から回旋眼球運動に対して興味を持ち、1963年には写真を用いたその測定法に関する研究も発表している¹⁴⁾。その後、1970~80年代にコイルの埋め込まれたコンタクトレンズを用いた測定法(サーチコイル法)が確立され、その後はこの測定法を用いて回旋運動に関する研究を精力的に続けた。そして、特に回旋輻輳眼球運動に関する先駆的で重要な多くの業績を遺している¹⁵⁻¹⁷⁾。今となっては確かめようのないことであるが、ハワード先生が回旋眼球運動に関心を持った理由の一つは、それを制御する生体の構造によるのではないだろうか。回旋眼球運動は、眼球を支える6本の筋肉の中の上斜筋と下斜筋によって主に制御されるが、上斜筋は滑車と呼ばれるリング状の部位を通るような構造になっている。生体になぜそのような人工的とも思える機構が

備わったのか非常に興味をそそるものであり、特に機械好きにはたまらない。ハワード先生も大の機械好きであり、古い飛行機の部品やタイプライターなど多くの機械ものが自宅や研究室に転がっていた。そして単に好きだけでなく、機械装置の製作技術はプロレベルであった。ハワード先生は多くのユニークな実験装置を使って実験を行ったが、それは実験装置を自分自身で作る卓越した能力があったためである。機械の製作技術それ自体でも実積を残しており、トロントにあるオンタリオ科学館が主催したゴム動力を使った車の工作コンテストで準優勝したこともある。ちなみに、優勝したのはフォード社の技術者であったため、ハワード先生は「彼らは車作りのプロだから反則であり、私が優勝だ。」と不平をもらしていたらしい。

回旋輻輳を生起させる視覚刺激は、左右像が互いに反対方向に回転している両眼刺激ペア(図3a上)である。その刺激が持つ回旋視差(rotational disparity)は、水平剪断視差(horizontal shear disparity)および垂直剪断視差(vertical shear disparity)成分に分解できる(図3b, c上)。よく知られているように、水平視差を持つ刺激は、通常、奥行き感の変化を生み出すが(図3b下)、その成分を持つ回旋視差は奥行き感を

生み出さず、額面平行のままに知覚される(図3a下)。回旋視差刺激の場合に水平視差から予想される奥行きが知覚されない理由として、一つは回旋視差を完全に打ち消すように回旋輻輳が生じるという可能性が考えられる。しかし、多くの測定データから回旋輻輳の回旋視差に対するゲインが完全には1にならないことも示唆されていた。そこでハワード先生は、回旋視差中のもう一つの視差成分である垂直剪断視差が奥行き知覚に関与していると考え、実験を計画した。この実験に筆者(金子)がポスドクとして関わった。その結果、回旋視差に含まれる垂直視差成分が水平視差成分と同量で逆方向の奥行きを生み出すことを示し(図3c下)、回旋視差から生じる回旋輻輳が奥行き量とは直接対応していないことを明らかにした^{18,19)}。

垂直視差が奥行き知覚に関与すると考えた研究者は他にもおり、Koenderinkとvan Doornは、面の奥行き知覚が水平視差、垂直視差に関わらずパターンの持つ視差のdeformation成分に基づくとする理論を提案し²⁰⁾、GillamとRogersはその可能性を実験的に検討したが²¹⁾、垂直剪断視差が奥行きに寄与することを示す直接的なデータは得られなかった。垂直視差が奥行きに寄与するには、大きな刺激サイズが必要

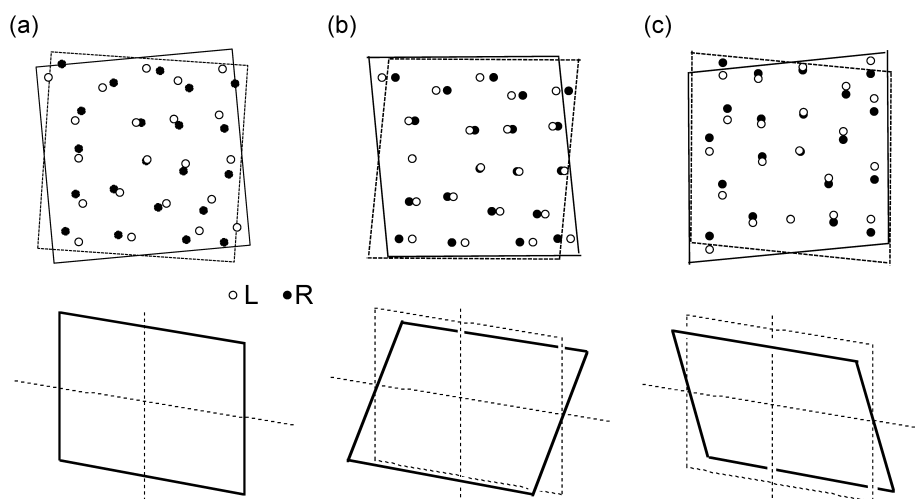


図3 両眼視差パターン(上段)と知覚される面の傾き(下段)。(a)回旋視差パターン、(b)水平剪断視差パターン、(c)垂直剪断視差パターン。

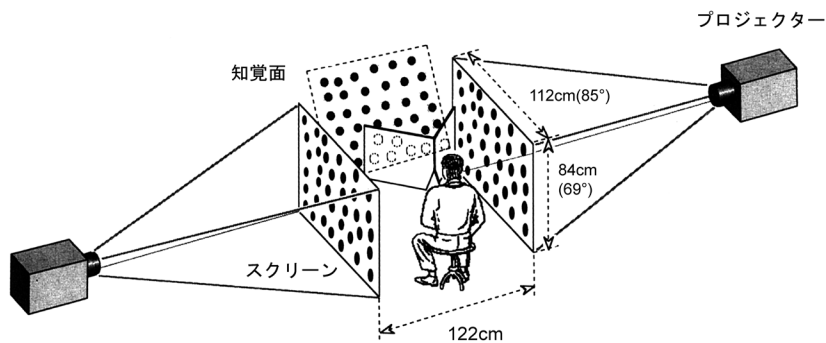


図4 広視野ステレオスコープ (Howard and Kaneko, 1994¹⁸⁾の図1を改変).

であることを予測していたハワード先生は、大視野を持つステレオスコープを用い、意図した刺激以外の視覚対象を徹底的に排除して実験することを計画した。そして、最終的に、水平視差成分を持つ回転視差から奥行き変化が知覚されないことの謎が明らかになったのである。今日では大視野の立体呈示装置は当たり前だが、当時はほとんどなく、筆者はスクリーンの一辺が1mを超えるミラー式ステレオスコープ(図4)を手作りしたが、途中ハワード先生に何度もダメ出しされ、完成までに2~3カ月を費やした。その時期は研究者というよりは、ほとんど大工(見習い)であった。しかしその期間を通して、木材の選び方から装置の精度を高める方法、また徹底した刺激制御のやり方を学ぶことができた。

ハワード先生の研究における大きな特徴の一つは、多くの人が指摘するように、数々のユニークな装置であろう。しかし、ハワード先生は装置自体の新規性やインパクトを目指したわけではなく、確固たる実験目的と既成概念に全く捕らわれない実験計画の結果として必然的にそれらを作ったのである。

4. 3次元視環境に含まれる両眼視野闘争

私たちの二つの眼は、水平方向にずれていることで、わずかに異なった視覚世界を見ているが、私たちは、その違いに気づかず、一つに融合された奥行きのある3次元視覚世界を知覚する。しかし、二つの眼に全く異なった像(例えば、

右眼に顔、左眼に家)が網膜上に投影されると、一方の像が現れたり、もう一方の像が現れたり、とダイナミックな知覚交替を経験する。このような知覚現象を両眼視野闘争と呼ぶ^{22,23)}。

Wheatstoneは、この両眼視野闘争という現象を系統的に調べた最初の研究者であった²³⁾。Wheatstoneは、ミラー式ステレオスコープを発明し、その装置の右眼用の写真と左眼用の写真に全く異なった写真を使い両眼視野闘争を発見した。このような発見の歴史的背景から、両眼視野闘争は人工的な刺激により創出される心理現象であると考えられていた。しかし、ハワード先生は、両眼視野闘争が生じるような状況は本当に日常の3次元視環境の中にないのだろうかとの疑問を持った。そして、ハワード先生はこの疑問に関連のある文献を発見した。それらの文献には、ハワード先生が考えたように、両眼視野闘争が日常の3次元視環境中に含まれていることを示唆していた。その文献のうち、レオナルド・ダ・ヴィンチの記述にハワード先生は注目した。ダ・ヴィンチは、後に単眼ゾーンと呼ばれる新しい奥行き手がかりの存在に気づいていた。例えば、二つの眼の前方に、比較的遠く離れたところに一枚の前額平行面があり、眼球とその面との間に比較的幅が細い不透明な前額平行面があるとする。この状況下では、幅の細い不透明な手前の面が、遠くにある奥の面の一部を隠してしまう。右眼と左眼は水平方向にずれた位置にあるため、右眼と左眼では奥の面の見える部分が異なる(図5a)。右眼

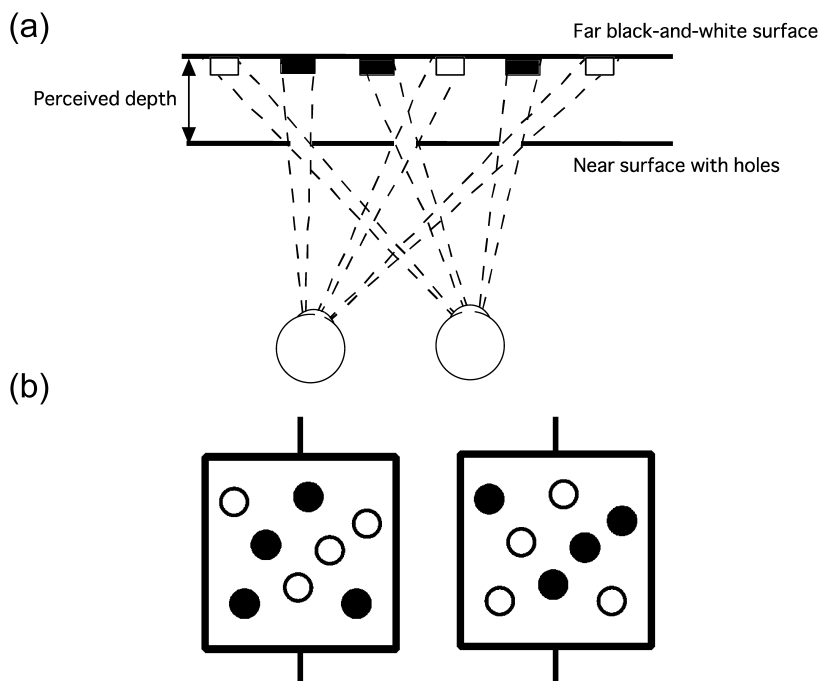


図5 Sieve効果. (a)単眼ゾーンと幾何学的な関係 (Howard 1995, Pion Ltd, London, <http://www.pion.co.uk>²⁴⁾の図5を改変). (b) Sieve効果を生み出す刺激. 二つの刺激を両眼融合すると, ふるいの穴の奥に面があるように知覚される (Howard 1995, Pion Ltd, London, <http://www.pion.co.uk>²⁴⁾の図1を改変).

では, 奥の面の左側が不透明面に隠され見えないが奥の面の右側は見える. 一方, 左眼では, 奥の面の右側が隠され見えないが奥の面の左側は見える. すなわち, 奥の面において, 右眼だけが見える領域と左眼だけが見える領域が存在することになる. この領域を単眼ゾーンと呼ぶ. 単眼ゾーンは片方の眼にしか像が投影されず両眼間で対応が取れない非対応領域となるので, ハワード先生はこの単眼ゾーンが日常の3次元視環境に存在し, 潜在的に両眼視野闘争を生起する刺激となり得ることに気づいた.

この単眼ゾーンをヒントにし, ハワード先生は1995年に *Perception* 誌で Sieve 効果と呼ばれる立体視現象を報告する²⁴⁾. この現象では, 単眼ゾーンの解釈が成立し奥行きが知覚されるが, それと同時に両眼視野闘争も生じる. 図5bに示された刺激を両眼融合すると, 両眼間で白と黒が反転した部分は穴があいているように見え, 穴を持った手前の面がふるい (sieve) になっているような印象を与え, さらにそのふ

るよりも奥に別の面があるような印象を与える. そして, 両眼間で白黒反転した部分に両眼視野闘争が生じるのである. Sieve 効果を生み出す刺激には, 両眼視差や単眼性の奥行き手かかりは含まれておらず, 唯一, 奥行きの手かかりとなるのは白黒反転パターンからの両眼視野闘争だけである. さらに, ハワード先生は, Sieve 効果に影響を与える重要な刺激変数を発見した. 図6のように, 白黒反転パターンのコントラストを減少したり, それらのパターンのサイズを大きくしたり, パターンを取り囲む枠を太くすることによって, Sieve 効果が減少することを見出した. ここで操作された3つの刺激変数は, 両眼視野闘争の見え方 (視野闘争時の exclusive dominance という知覚) に影響を与える刺激変数として知られていたものであった. このことから, ハワード先生は, 視野闘争時の exclusive dominance の減少が Sieve 効果を弱めたのではないかと考えた. この仮説を検証するため, 当時ハワード先生のポストクだった

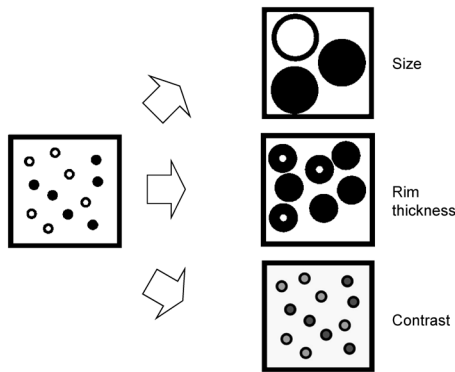


図6 Sieve効果を減少させる刺激変数（サイズ，枠，コントラスト）。

筆者（松宮）は、Sieve効果によって知覚される奥行き量と exclusive dominance の視野闘争頻度の相関関係を調べた^{25,26)}。その結果、白黒反転パターンコントラスト、サイズ、枠の太さに依存して、exclusive dominance の視野闘争頻度が高いときに Sieve 効果による奥行き量が増大することを発見した。この発見は、ハワード先生の仮説を支持している。

これまで立体視と両眼視野闘争は異なるチャンネルで処理されると考えられてきたが、ハワード先生が発見した Sieve 効果により、両眼視野闘争のメカニズムは、日常では存在しない人工的な刺激を呈示することで視覚系が出力するエラーという働きだけでなく、脳内で3次元の視覚世界を構築することにも寄与することを示唆している。

ハワード先生が徹底的な文献調査を行っていたことは上述した Sieve 効果の発見に至る過程や先生が遺された多くの著書から明らかであるが、そこには単に過去の研究を概観するだけでなく、自らの考えを入念に確かめようとするハワード先生の意志があったように思えてならない。

5. 著書「Perceiving in Depth」

ハワード先生の視覚研究への貢献は多岐にわたっており、どれも重要である。トロントのヨーク大学に強力な視覚研究センターを設立した功績は大きいし、先生ご自身によるオリジナ

ルの研究も着眼点と実験方法が非常にユニークである。しかし、それらに匹敵するほど、あるいはそれら以上に、先生の著作物²⁷⁻³¹⁾の重要性は際立っていると思う。

筆者（佐藤）がハワード先生のポスドクとしてヨーク大学に赴任したのは1996年の春である。先生のご指導の下、恵まれた環境で立体視についてじっくり勉強する機会を得られたことは幸運であった。1995年に出版されたばかりの *Binocular vision and stereopsis*²⁹⁾ を熟読し、そこで知った重要な文献を図書館で調べ、さまざまな刺激を作成して実際に観察してみるということを実行し、それを毎日繰り返していた。それ以外にやらなければいけないことは何もなかった。あの幸福な日々が今はとても懐かしい。

Binocular vision and stereopsis は16章、736ページからなる大著である。73ページにわたる参考文献の数は、とても数える気にはならないので正確な数は把握していないが、3,500くらいはあるはずだ。立体視というテーマでよくこれだけ書くことがあるものだと感心してしまうが、驚くのはまだ早い。2002年には、*Seeing in depth*³⁰⁾ と改題し、2分冊にボリュームアップした。2012年には、さらに *Perceiving in depth*³¹⁾ とタイトルを改め、ついには3分冊になってしまった。全38章、総ページ数1,691ページ。イアン・ハワード先生御年85歳の快挙である。

Perceiving in depth の優れた点は、もちろん、分量が多いことだけではない。内容が非常によく整理されていて、調べものをする際に信じがたいほど便利である。1万件を超えるであろう参考文献には、ひとつひとつすべてに、その文献が引用されている章と節の番号が記されている。サブジェクトインデックスも充実している。これはまさに立体視の百科事典だ。個々の研究に対するハワード先生のコメントを読んでいると、先生と研究内容についてディスカッションをしているような錯覚に陥る。先生の独特のしわがれ声が耳の奥によみがえり、涙が自ずとにじみ出てくる。

1996年に *Perception* に掲載されたアルハー

ゼンに関する論文³²⁾はとてもハワード先生らしいと思う。まず、論文の構成が非常にユニークである。アブストラクトよりも前に、ハワード先生から11題のクイズが出題される。11世紀に中東で活躍したアルハーゼンの視知覚研究を正しく評価するべきであるというのがその論文の主旨だ。19世紀以降の近代的な心理学の研究成果と思われているものかなりの部分が、11世紀にすでに十分に科学的な根拠に基づいて明らかにされていたという驚くべき内容が、クイズの答えを解説するという形式で楽しく、かつ厳密に検証されている。

今回の追悼企画を計画し進めていく中で、かねてから念願の、アルハーゼンに扮するハワード先生の映像を拝見することができた。ヨーク大学で隔年で開催される国際シンポジウムでは、毎回趣向を凝らした特別イベントが企画される。ハワード先生扮するアルハーゼンが登場する伝説の演劇は1999年の特別企画である。そこには、何の演技も役作りもなく、視覚研究についてただひたすら真剣に解説する素のままのハワード先生の姿があった。もうヨーク大学を訪ねても、ハワード先生にお目にかかることはない。ハワード先生の最新刊が出版されることもない。

6. おわりに

以上のようにハワード先生が空間知覚研究の分野に遺した多くの業績を振り返ってみると、それらが敬服に値するものであることがあらためてよくわかる。研究結果だけでなく、研究の計画や条件の設定、装置の開発および作成など研究方法に関することや、研究に対する姿勢、哲学においても他の研究者に多くの示唆を与えた。

ここに、謹んでハワード先生のご冥福をお祈りするとともに、先生が遺した業績や、示された研究姿勢、哲学を携えて、空間知覚メカニズムの解明を進め、その一端でも後世に伝えて行くことが、我々の義務であり、先生の御恩に報いる最善の方法であると考えます。

文 献

- 1) M. Ohmi, I. P. Howard and J. P. Landolt: Circular vection as a function of foreground-background relationships. *Perception*, **16**, 17–22, 1987.
- 2) M. Ohmi and I. P. Howard: Effect of stationary objects on illusory forward self-motion induced by a looming display. *Perception*, **17**, 5–11, 1988.
- 3) I. P. Howard and T. Heckmann: Circular vection as a function of the relative sizes, distances, and positions of two competing visual displays. *Perception*, **18**, 657–665, 1989.
- 4) I. P. Howard and L. Childerson: The contribution of motion, the visual frame, and visual polarity to sensations of body tilt. *Perception*, **23**, 753–762, 1994.
- 5) R. S. Allison, I. P. Howard and J. E. Zacher: Effect of field size, head motion, and rotational velocity on roll vection and illusory self-tilt in a tumbling room. *Perception*, **28**, 299–306, 1999.
- 6) I. P. Howard and G. Hu: Visually induced reorientation illusions. *Perception*, **30**, 583–600, 2001.
- 7) M. Ohmi, I. P. Howard and B. Eveleigh: Directional preponderance in human optokinetic nystagmus. *Experimental Brain Research*, **63**, 387–394, 1986.
- 8) I. P. Howard and M. Ohmi: The efficiency of the central and peripheral retina in driving human optokinetic nystagmus. *Vision Research*, **24**, 969–976, 1984.
- 9) C. M. Murasugi, I. P. Howard and M. Ohmi: Optokinetic nystagmus: The effects of stationary edges, alone and in combination with central occlusion. *Vision Research*, **26**, 1155–1162, 1986.
- 10) C. M. Murasugi, I. P. Howard and M. Ohmi: Human optokinetic nystagmus: Competition between stationary and moving displays. *Perception and Psychophysics*, **45**, 137–144,

- 1989.
- 11) I. P. Howard, D. Giaschi and C. M. Murasugi: Suppression of OKN and VOR by after-images and imaginary objects. *Experimental Brain Research*, **75**, 139–145, 1989
 - 12) I. P. Howard and E. G. Gonzalez: Human optokinetic nystagmus in response to moving binocularly disparate stimuli. *Vision Research*, **27**, 807–816, 1987.
 - 13) I. P. Howard and W. A. Simpson: Human optokinetic nystagmus is linked to the stereoscopic system. *Experimental Brain Research*, **78**, 309–314, 1989.
 - 14) I. P. Howard and J. A. Evans: The measurement of eye torsion. *Vision Research*, **3**, 447–455, 1963.
 - 15) I. P. Howard and J. E. Zacher: Human cyclovergence as a function of stimulus frequency and amplitude. *Experimental Brain Research*, **85**, 445–450, 1991.
 - 16) I. P. Howard, L. Sun and X. Shen: Cyclovergence and cyclovergence: The effects of the area and position of the visual display. *Experimental Brain Research*, **100**, 509–514, 1994.
 - 17) I. P. Howard, M. Ohmi and L. Sun: Cyclovergence: A comparison of objective and psychophysical measurements. *Experimental Brain Research*, **97**, 349–355, 1993.
 - 18) I. P. Howard and H. Kaneko: Relative shear disparities and the perception of surface inclination. *Vision Research*, **34**, 2505–2517, 1994.
 - 19) H. Kaneko and I. P. Howard: Spatial properties of shear disparity processing. *Vision Research*, **37**, 315–323, 1997.
 - 20) J. J. Koenderink and A. J. van Doorn: Geometry of binocular vision and a model for stereopsis. *Biological Cybernetics*, **21**, 29–35, 1976.
 - 21) B. Gillam and B. Rogers: Orientation disparity, deformation, and stereoscopic slant perception. *Perception*, **20**, 441–448, 1991.
 - 22) I. P. Howard and B. J. Rogers: Binocular fusion and rivalry. *Perceiving in depth, Vol. 2. Stereoscopic vision*. Oxford University Press, New York, 51–106, 2012.
 - 23) I. P. Howard: Binocular rivalry and the perception of depth. *D. Alais and R. Blake (eds): Binocular rivalry*. The MIT Press, Cambridge, 169–186, 2005.
 - 24) I. P. Howard: Depth from binocular rivalry without spatial disparity. *Perception*, **24**, 67–74, 1995.
 - 25) K. Matsumiya, I. P. Howard and H. Kaneko: Perceived depth in the ‘sieve effect’ and exclusive binocular rivalry. *Perception*, **36**, 990–1002, 2007.
 - 26) K. Matsumiya: Influence of exclusive binocular rivalry on perceived depth in the ‘sieve effect.’ *Optical Review*, **13**, 39–45, 2006.
 - 27) I. P. Howard and W. B. Templeton: *Human spatial orientation*. John Wiley & Sons, 1966.
 - 28) I. P. Howard: *Human visual orientation*. John Wiley & Sons, 1982.
 - 29) I. P. Howard and B. J. Rogers: *Binocular vision and stereopsis*. Oxford University Press, New York, 1995.
 - 30) I. P. Howard and B. J. Rogers: *Seeing in depth*. I. Porteus, Toronto, 2002.
 - 31) I. P. Howard and B. J. Rogers: *Perceiving in depth*. Oxford University Press, New York, 2012.
 - 32) I. P. Howard: Alhazen’s neglected discoveries of visual phenomena. *Perception*, **25**, 1203–1217, 1996.