



目に見える世界の姿をめぐるって

金子 寛彦 研究室～像情報工学研究施設



金子 寛彦 助教授

人の眼球の構造はカメラに似ている。瞳孔で眼球の中に入る光の量を調節し、水晶体がレンズのように光の屈折を変えて風景のピントを合わせ、網膜というフィルムに映す。網膜に映った光の情報は電気信号に変わり、神経を通じて脳へと伝わる。そうして私たちは周りの景色を見ている。写真とは違って、そこには奥行きがある。しかし網膜は二次元の平面であり、そこに映る映像から外界の三次元情報、つまり奥行きを直接には得ることはできない。私たちはどのようにして空間の奥行きを知覚しているのだろうか？



奥行き感のある二次元画像

人は二つの目に入る映像の違いから奥行きを知覚する、というのは一般によく知られていることである。しかし、片目から得られるような二次元の映像からも、奥行きを知覚することができる。日常のよくある状況を仮定して対象を見れば、その空間的な様子がわかる場合がある。

図1を見てほしい。左は中の円が窪み、右は出っ張っているように見えまいだろうか？ 左の円形と右の円形は互いに上下を逆さまにしているだけであるが、奥行きが変化している。これはつまり、影のつけかたによって丸い円の凹凸が変化するということだ。私たちが普段目にする光のほとんどは上から来ている。この図形を見たときに、光が上から来ているという状況を仮定してあなたは凹凸を判断したのだ。

また人の目には、近くにあるものは大きく、遠くにあるものは小さく映る。人はこの網膜上の物体の大きさからも奥行きを判断している。この性質を利用して絵に奥行き感をもたせることも可能である。これは遠近法と呼ばれる。図2の絵はその中の一つである、一点透視図法を使って描かれたものである。

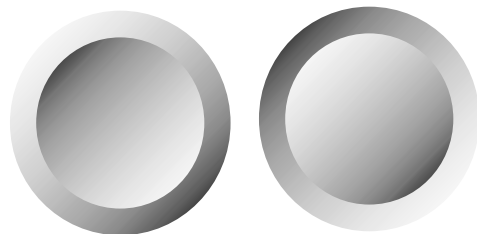


図1 凹凸のある二つの円形



図2 遠近法で描かれた絵

変わったところでは頭の動きと、それに伴う風景の動きも奥行き知覚の手がかりになる。金子先生はこれを利用して人の奥行き知覚を「騙す」装置(写真1)を作成した。図3はそれを上から見た図である。

ついたてのスリットからは、その奥にある縞模様が見える。台に顎を乗せて片目をつぶり、左右に頭をふってみる。筆者も実際にやってみたが、ついたての奥にあるはずの縞模様が、ついたてよりも手前に見えた。一体なぜこんなことが起きるのだろうか。

被験者は片目で、ついたてと縞模様のどちらが手前か判断しなければならない。しかし、ついたての柄や縞模様は単純なパターンであるために、物の大小や陰影といった情報が得られない。そこで被験者は頭の動きと映像の変化をもとに奥行きを判断することになる。

図3で見ると、台と奥の縞模様は金属の棒でつながっていて互いの動きが同期する。よって、見え方としては金属の棒上のどの位置に縞模様があってもおかしくない。しかし、私達の視界に頭と直接繋がっている物体は基本的になく、見え方が頭の動きと同期するものもない。だから、人の視覚系は縞模様を動かないものとして捉える。この実験の金属棒上で動かない位置とは支点である。だから被験者には縞模様が支点上の位置、つまりついたての手前にあるように見えてしまうのだ。

この現象は両目を開けていても起こるが、片方の目を閉じているときに起こりやすい。人は対象の空間形状がどのようなものであるか、正しい判断ができない場合もあるのだ。このような人間の知覚を混乱させる例は他にもある。金子先生の研究室を訪ねた際に、面白い形をしていたり絵が描かれていたりするオブジェをいくつか見せていただいた。その中の一つが写真2の四角錐である。これは中央が出張っている。しかしこの四角錐の形をした物体を片目をつぶって正面から見ると、中央がへこんでいるように見えてしまう。実は図2は四角錐を正面から撮った写真だったのである。

このような錯覚現象は決して知覚のエラーではなく、人の情報処理としては正しい。私たちは物体の立体構造を見ているわけではなく、得られた情報をもとに奥行きを判断しているだけだ。錯覚

を起こすようなオブジェはそれぞれ作作的な奥行き情報を持っている。その情報が実際の形と違っていたら、そこに矛盾や知覚の混乱が起きる。実際には奥行き知覚に使われる情報は多種多様であり、お互いが補いあっている。一つの情報だけに頼っていると錯覚が起こることもあるが、補い合うことで私たちは正確に奥行きを知覚することができるのである。

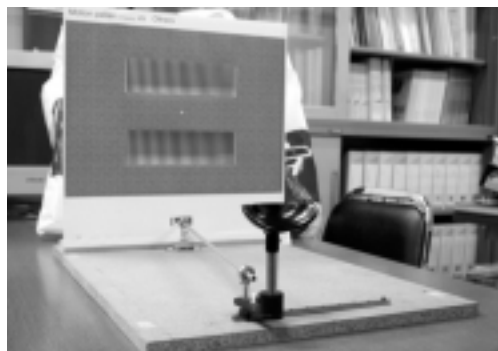


写真1 錯覚が起きる装置

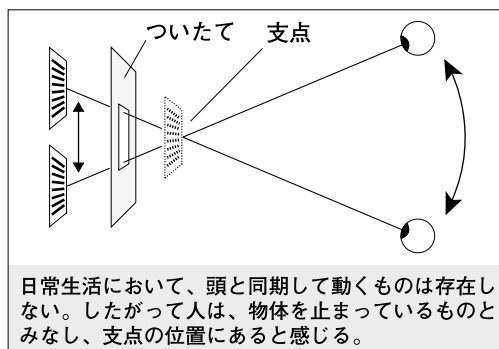


図3 実験装置の模式図



写真2 斜めから見た四角錐のオブジェ



両眼視差による奥行き知覚

より正しく奥行きを判断するために私たちは両眼視差という情報を使っている。両眼視差とは左右の目の網膜上に映る像の位置の差で、水平方向の差を水平視差、垂直方向の差を垂直視差と呼んでいる(図4)。奥行き知覚に使われる情報は主に水平視差である、と一般に考えられている。人の目は横に二つ並んでいるため、両眼視差の量は垂直方向よりも水平方向に大きいからだ。実際に水平視差は人の奥行き知覚に大きな役割を果たしており、その感覚は非常に鋭い。

一方で垂直視差による奥行き知覚は近年になるまで確認されていなかった。一つの点でのわずかな差も見逃さない水平視差の知覚と違い、垂直視差の場合は視野のほぼ全体に垂直視差がなければ奥行き知覚に影響があらわれない。コンピュータや大画面のディスプレイなどの登場によって、初めて人の視野に広い範囲の垂直視差を与えられ、細かく操作できるようになった。それによって垂直視差が奥行きを生み出していることが確認されたのだ。

垂直視差情報による奥行き知覚の研究が進み、その性質がわかってきた。その特徴の一つは、方向と大きさに特定の規則性がある垂直視差が広く視野中に分布している場合に奥行きが知覚される、ということだ。金子先生によると、この特徴は日常生活における垂直視差が生じる状況と関係が深いそうだ。

垂直視差が生じる状況の一つに、眼球が傾いている場合がある。人が普段生活している中で、左

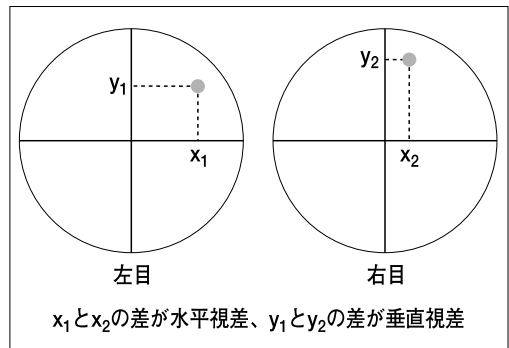


図4 両眼視差

右の眼球が視線を軸として異なる角度に回転していることがある。このときに網膜に映る像の位置がずれて、垂直視差や水平視差が生じる(図5)。このときに一番困るのは水平視差が生じてしまうことだ。水平視差の知覚は感度が高い。具体的には網膜の座標軸がおよそ1/500°ずれただけでも奥行きに影響がある。

両眼視差のパターンから眼球のズレが起こっていることがわかると、このズレを直すために眼球が回転する。しかし小さなズレを眼球の筋肉による動きだけで修正することは難しい。金子先生によると、垂直視差をもとに、ずれた水平視差の情報が補正されるという。垂直視差の量や分布などをもとにして、逆にそれを打ち消すような情報処理を行うのである。私たちはそうした情報の補正機能によって、正しい奥行きを持った空間を見ることができるのだ。

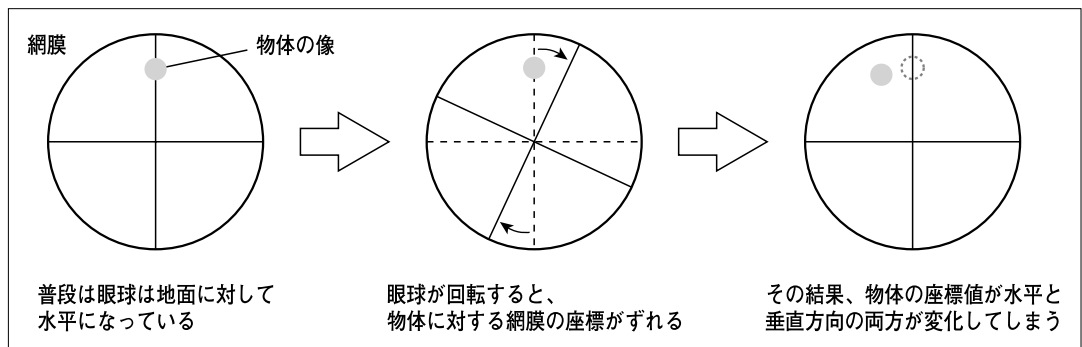


図5 眼球の回転による座標のずれ



奥行き情報の統合処理

私たちは左右の目の網膜に映った像を直接に見ているのではない。私たちの目に見える奥行きのある空間は、脳での情報処理の結果である。様々な情報が統合され奥行きが知覚されるのだが、人は全ての情報を平等に扱っているわけではない。奥行きを知覚する上で、それぞれの情報に対する依存度は違うのだ。

図6を見てほしい。この図では右の円が左の円に対して横方向に圧縮されている。この二つの円の横方向のズレが水平視差となる。また点の疎密がどちらの円も左側が粗く右側が細かい。点同士の距離が実際はどれも同じであると仮定すると、円は鉛直軸の回りに傾いていることになる。この点の疎密が二次元的な奥行きの情報となる。つまりこの図形からは二種類の情報が得られるのだ。

これらの二つの円をそれぞれ左右の目で見ると、結果的に一つの円として見えるが、それはどのくらい傾いているのだろうか。水平視差の情報だけから知覚されるはずの面の傾きを α 、疎密の情報だけからの面の傾きを β とする。そしてこれらが統合された結果見えた面の傾きを x とする(図7)。この α と β の差を一定にして角度を変えていく。するとある角度で $x=0$ 、つまり面が被験者と正対しているように見える。しかしその角度の組み合わせは人によって違っていた(図8)。

どんな奥行き情報を重視するかは、個人の性質に関係があるようだ。例えば近視の人は両眼視差から得られる情報をより重視する傾向がある。これは近くのものを見る場合に両眼視差が大きいからだ。逆に視力が良くて遠いところの物体にもピントを合わせられる人は、両眼視差の情報を重視しない傾向がある。

また、この情報の依存度は訓練で変えることもできる。被験者には遠くのものばかりを見せたり片目で手作業をさせるなど、空間認識に二次元の情報を多く使う仕事をしてもらおう。その後被験者の奥行き情報の依存度を調べる実験を行った。初めのうちは目立った変化は起こらなかったが、一週間ほどこの実験を続けていくと被験者の二次元情報の依存度が高くなった。この性質は後天的なものであるようだ。

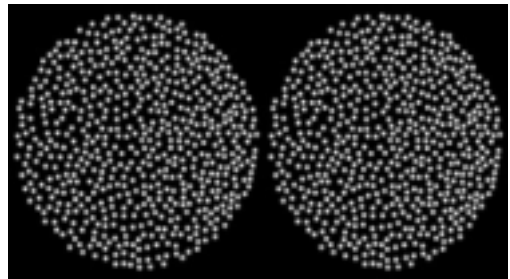


図6 傾き情報が含まれる図形

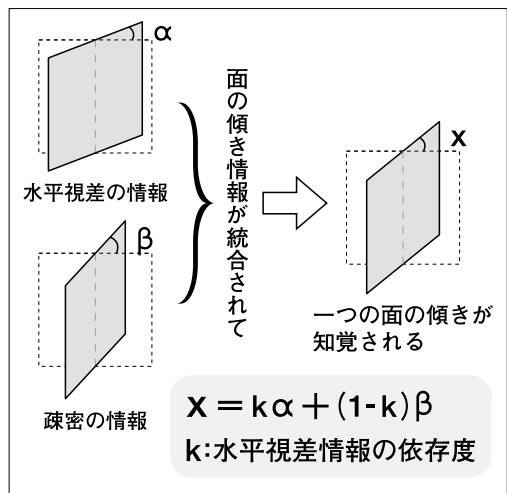


図7 面の傾き情報の統合

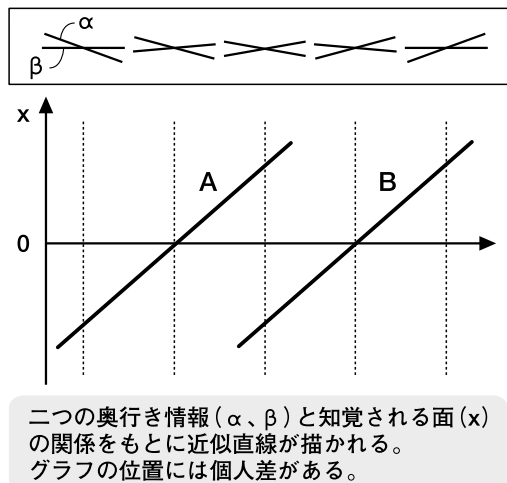


図8 奥行き情報と知覚の関係



心理物理学が探し求める世界の姿

人間の知覚や脳についての研究は近年盛んになってきている。その中で人の知覚について定量的なデータから見ていく研究は心理物理学と呼ばれている。解剖学の神経や脳のつながりを探る、といった手法に対して心理物理学では脳全体としての知覚の働きを探っている。このような点においては心理学の一分野とも言える。しかし、面接やアンケートから得られる定性的なデータとは違って、心理物理学で用いるデータは精密な実験による定量的で具体的なものだ。

ここまで金子研究室で行われている研究について、主に奥行き知覚についての研究を見てきた。この他にも人の視覚に限らず、様々な研究が進行中である。だが実験の手法や研究対象に対するアプローチには一つの形がある。人の感覚に刺激を与えて、その結果どのような知覚が発生したかを定量的なデータにできる形で応答してもらおう。そのようにして得られたデータをもとに人の脳の情報処理について考えていくのである。なぜ金子先生はこのような分野の研究をしようと思ったのだろうか。

金子先生は学部では応用物理学科であったが、四年生のときに視覚の研究をする研究室に入った。人の知覚の仕組みを解明することに強く惹かれたという。人の知覚について計測を行うと、その測り方の工夫次第では非常に美しい規則性が見つかったりする。そのようなところにこの分野について研究する面白さを感じるという。

先生の研究のプロセスには物理学に似ているところがある。過去の物理学の研究者達は物の運動を測定し、結果を見てそれが何を意味しているの

かについて考えてきた。重力加速度について、ものを落として時間ごとの位置をとったらある軌跡が描かれた。これにはどういうルールが働いているのか。そこに加速度と言う概念を持ち出すと、非常に単純な式でこの軌跡が説明できる。物理学がそうして自然界の法則を見いだしていったように、脳の仕組みを解明していきたいのだ、と金子先生はおっしゃっている。

この分野の研究は物理や化学にくらべ歴史が浅い。現在あらゆる分野から脳とその情報処理についてのアプローチがあるが、それらを一つにまとめる体系的な学問はまだない。そして、それはこの分野のこれからの発展や可能性が大きいことを示している。

人の知覚について解明されていない現象は非常に多くあり、それらの多くは難解で複雑で解釈が困難なものばかりだ。しかし、金子研究室の人々や世界中にいる研究者達の努力によってそれらを解明する作業は日々進められていく。彼らを動かす動機は何なのだろうか？

人の目に原子は見えない。光の波長の長さもわからない。その真実を直接知ることはできない。私たちの世界は知覚の上にある。耳を澄ませば音が聞こえ、目には色と形のある風景が見える。暖かい日差しが心地よく、冷たい夜風にごえる。花が咲いていて匂いがあり、日々の食事をおいしいと感じている。人には心があり、生きている。金子先生は人の知覚について研究している。私たちにとって身近な世界の未知なる現象が、その探求心を惹きつけている。

本文の中で金子研究室では様々な研究が行われている、とだけしか書きませんでした。この記事で紹介できた研究はその中の本当に一部でしかありません。人の知覚という身近な現象を対象とした研究は、これからの発展が期待される分野です。様々な分野の知識や技術の融合が必要とされています。そういった点で色々な人が興味をもてるとは思いません。この記事がみな

さんの興味のきっかけになれば筆者としては幸いです。

最後になりましたが、お忙しいところ度重なる取材に快く応じていただき、様々な実験装置を見せていただいた金子先生と研究室の方々にお礼を申し上げますと共に、金子研究室の更なる発展をお祈り致します。

(加藤 悦男)