

鏡像を含む視空間の認知構造と鏡像問題の基礎

田中潤一

2016年12月5日

JCSS-TR-75

連絡先

田中潤一

〒東京都文京区西方 1-17-11-513

E-mail: jta@nov.email.ne.jp

© Junich Tanaka, 2016

日本認知科学会事務局

〒464-8601

愛知県名古屋市千種区不老町

名古屋大学 大学院教育発達学研究科内

FAX: 052-789-2654

E-mail: jcss@.gr.jp

(研究論文)

鏡像を含む視空間の認知構造と鏡像問題の基礎

Cognitive structure of the visual space that includes mirror images and the
basis of the mirror reversal problem

| 2

Abstract: This study clarifies that many previous studies of the mirror reversal problem have been excessively complicated or confused by involving processes of mirror self-recognition that actually are not involved in the mirror reversal process. All cases of mirror reversal of images are originally caused by the fact that an image and its mirror image are enantiomorphs of each other and any one directional axis can be recognized as the axis in which the shapes of the pair are reversed in the isotropic geometrical space, whereas in the anisotropic visual perceptual space, the axis in which the inversion occurs should be one significant axis, which will tend to be left-right axis. Only the anisotropic perceptual space accommodates directions such as top, front or right. The process to determine the inverted axis is the comparing process of the mirror image and the direct image, in which process the directions of the each two axes of the two images are aligned and in the remaining axis the inversion will be recognized. In that comparing process, which is performed in the isotropic geometrical space, the anisotropic nature of the visual space and the free thinking will determine the inverted axis.

Keywords: mirror image problem (鏡像問題), mirror reversal problem (鏡映反転問題), isotropic geometrical space (等方的な幾何学空間), anisotropic visual space (異方的な視空間), shapes that have meaning (意

味を持つ形状), comparing process (比較プロセス)

1. はじめに¹

本稿の目的は表題のとおりであるが、それ以上に、「視空間の異方性」と「幾何学空間の等方性」の概念によって鏡像問題が包括的に説明できることを示し、鏡像問題を契機に、視空間の異方性と幾何学空間の等方性の理解が各種分野の科学的研究あるいは科学についての研究において如何に有用であり、生産的であるかを例証することを希望している。

視空間の異方性については認知科学の研究テーマとしても取り上げられる機会は多々あるように見受けられる。しかし鏡像問題では視空間の異方性に言及されてこなかった。それは恐らく、この異方性が単に長さや時間あるいは強度などの量的な問題として扱われてきたからである。視空間の異方性の本質を捉えるには幾何学空間の等方性との差異に注目する必要があるが、常に幾何学空間の等方性とのセットで考察すべきものである。なぜなら、空間の科学的な取り扱いで不可欠な幾何学は等方的な幾何学空間で成立するからである。幾何学空間は「思考空間」であり、視空間は感覚的な「知覚空間」である。思考と知覚の両者なしで科学はありえない。この点について、カッシーラーは次のように説明している。

「等質空間とは、決して所与の空間ではなく、作図によって作りだされた空間なのである。事実、等質性という幾何学的概念は、ほかでもない、空間内のどの点からでも、あらゆる地点に向かってあらゆる方向で同じ作図がおこなわれるという要請によって表現されうるものである。直接的な知覚空間においては、こうした要請は決して果たされ得ない。この知覚空間には位置と方向の厳密な同質性などなく、一つ一つの位置がその固有の資質と固有の価値を持っている。視空間と触空間は、ユークリッド幾何学の測量的空間とは対照的に、共に[異方性]と[異質性]

とをもつという点で一致している」,「神話的空間が知覚空間とは近い親縁関係にあり, 他方幾何学の思考空間とは鋭く対立するであろうことに, まったく議論の余地はない。」

| 5

ここから,「上下・前後・左右」は知覚空間(視空間を含む)に特有の属性であり, 幾何学空間に上下・前後・左右は適用できないことが分かる。上下・前後・左右は空間における質的な属性であり, 長さなどの量的な, 計測可能な属性ではないからである。

引用では等質空間という用語が用いられているが, 幾何学空間(思考空間)の等方性と, 知覚空間の1つである視空間の異方性との差異に基づいて鏡映反転を包括的に考察した結論を簡単に要約すると次のとおりである。

1つの像とその鏡像(鏡映対)とは互いに対掌体の関係にあり, 形状の特徴が任意の1軸で互いに逆転した関係になっている。つまり鏡映対は幾何学空間においてどの1軸で逆転しているともみられる。鏡映対が現実に視空間で観察される場合, 視空間の異方性により各方向によって方向自体に質的ないし価値的な差が生じる。通常, 視空間の方向は上下・前後・左右の要素で認知されるが, 上下, 前後, 及び左右はそれぞれ異なる意味を持ち, 価値的にも差異が生じるため, 幾何学空間において逆転する任意の一軸が, 通常は上下・前後・左右のいずれかに該当することになり, 多くの場合にこの逆転した軸が左右軸になる。

上下・前後・左右のない幾何学空間において対掌体の対として定義される形状の対は視空間で初めて上下・前後・左右を適用され, そのいずれかの軸上で互いに形状が逆転した対として認知されることになる。以下の各章で以上の結論に至るまでの経過と結論自体を詳細に論じる²。

¹本稿は最初の構想では2014年に提出したテクニカルレポート「鏡像を含

む空間の認知構造の解明に向けての予備的考察」の考察をさらに掘り下げ、誤りを修正し、新たな考察と知見により雑誌投稿向けに再構成したものであった。前回のレポートは鏡像問題の考察を軸として等方空間と異方空間の差異による視空間の認知問題を方法論として持ち込んだのに対し、今回は視空間の認知問題の枠組みの中で鏡像問題を考察できることを提起するという記述方法をとった。その結果、認識論的な面が表面に浮上したために考察を行った範囲が広くなり、鏡像問題の解決が見えにくくなった嫌いがある。そこで、いくつかのかなり長文の注釈を付して、テクニカルレポートとして公表することになった。ぜひ以下の注釈も読まれることを希望したい。

²等方的空間（等質空間，測量空間，または幾何学空間）と異方的な視空間の意味と認知問題における意義について

本文にもあるように、視空間の異方性についてはこれまでの認知科学分野の研究においても考察されてきたことが、過去の事例に見てとれる。しかし、確認できた限りそれらは視空間の異方性について量的に取り扱うだけで、等方空間との比較において質的に考察していると言えない。認知科学一般では現在に至るまで、視空間の異方性については語られていても、幾何学空間の等方性については語られることがなかったように思われる。この場合の異方性における量的な要素とは長さや速度などの数量的な変化のことである。視空間のさまざまな方向軸や個々の位置によって認知される長さや速度に変動がある場合、個々の方向軸や位置において、長さや速度を変化させる原因があり、それは質的な違いと考える他はない。

質的な異方性については本文で引用しているカッシーラーが「この知覚空間には位置と方向の厳密な同質性などなく、一つ一つの位置がその固有の資質と価値を持っている」と述べているとおりである。この「固有の資質と価値」は、場合により「意味」という表現で置き換えることが可能である。本稿第5章の要約の「6）」で述べているのはこの意味である。例えば下の図は本稿の文献欄にある Rock, I (1973) から引用したものであるが、著者の Rock は、この図の左側を子犬、右側を、あごひげを生やした老人の横顔に見立てている。

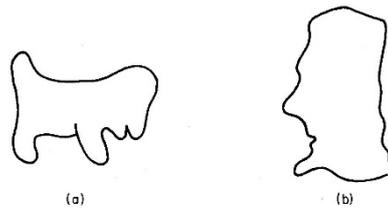


FIG. 11

この図を右向きと左向きに回転させたものが下の2つの図である。

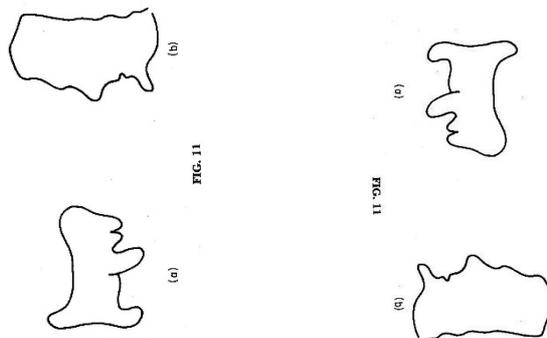


FIG. 11

FIG. 11

左向きに90度回転した左側の図では上の図で老人の横顔であったものが

アメリカの地図に見え、右向きに90度回転した右の図では上図で子犬に見えたものがシェフの横顔に見えるとしている。著者のRockはこの原因について述べていないが、これは異方空間における形状の意味的な変化と見ることができる。老人の横顔、シェフの横顔、子犬の形、アメリカの地図の形、こういったものはすべて形状の幾何学的な規定ではなく形状の持つ「意味」である。以上の何れも幾何学的には同じ形を90度だけ、それぞれ反対方向に回転した形状としか表現できない。Rockは視空間の異方性を量的にのみ捉え、質的には把握しなかったため、この意味的な変化を視空間の異方性と関連付けることはなかった。

一方、等方的な空間では、何らかの形状は単なる図形ないし幾何学的な形状であり、意味を持たない。つまり幾何学的な性質、位置、長さ、大きさ、それに対称性などで規定されるものと言える。別の観点から見ると、意味的な形状、すなわち形状の意味は人間だけが認知できるものであるが、形状そのもの、すなわち幾何学的な形状は座標データとしてデジタル化も可能で、コンピュータでも扱えるものである。これは本稿が理解されるための最も重要な概念でもある。本稿では「意味」という用語を頻繁に使用しているが、多くの場合「意味」を上述の意味で使用している。

2. 従来説の再検討

2.1 比較的最近の従来説の概観

Psyconomic Bulletin 誌に掲載された論文 Takano (1998) にはそれ以前の鏡像問題研究が概観されている。そこで Takano (1998) は従来説のすべてが不完全な説明に終わっていると結論づけた上で、独自の多重プロセス理論を構築している。多重プロセス理論はその後の論文 Takano & Tanaka (2007) その他で部分的に修正されているが、多重プロセスの概念は変えられていない。

この Takano 論文に続いて同誌に掲載された Tabata & Okuda (2000) によれば、上記多重プロセス理論は不必要な心理プロセスで過剰に複雑化されているとして批判されている。こちらの理論は、鏡像と実物(の像)が互いに対掌体をなすとの幾何学的な関係に基礎を据え、左右逆転の問題は「左右軸の従属性」という原則によって説明されたが、その説明には左右以外で逆転が認知される場合が説明されずに残されていた。その部分を補足するとする理論が吉村(2004)および Yoshimura & Tabata(2007)

によって提唱された。それによれば、鏡像はその固有座標系で認知される場合に左右逆転が認知され、実物（像）と共に共有座標系で認知される場合に左右以外の逆転が認知されるというものである。

その後、上記の両理論を共に批判する小亀（2005, 2006）論文が認知学会誌に発表され、さらに上記日本の研究者による3つの理論が認知科学誌（2008）によって『小特集一鏡映反転：「鏡の中では左右が反対に見えるのは何故か？」』というテーマの下で誌上討論の形式で討議されたが、どの説も相互に賛同されることはなかった。

2.2 従來說で等閑視されていた空間の性質と従來說に共通する方法論上の問題

従來說はいずれも視空間の異方性と幾何学空間の等方性の概念を取入れていないことが最大の問題であるが、それに加えて次の3つの重要な問題点がある。

- 1) 自己鏡像認知の問題と鏡映反転の問題が分析されていない。
- 2) 鏡像は、単独では直視像と区別できないものである。鏡映反転は正確には鏡像の問題ではなく、鏡映対の問題であること、つまり比較の問題であることが看過されがちである。
- 3) 「逆転（上下・前後・左右）」あるいは「反転（同上）」の意味が多義的になる場合がある。以下、従來說に共通する以上の不備を検討する。

2.2.1 視空間と幾何学空間が区別されていなかったこと

鏡映反転の認知メカニズムには鏡映対の物理的な生成プロセスが前提として含まれている。このプロセスは幾何光学的プロセスであり、観察者の視空間ではなく思考空間である等方的な幾何学空間で記述され

るものである。この等方的な幾何学空間は原理的に上下・前後・左右の属性を許容しない（「左右対称」などの用語が使われることもあるが）³。ところが解明すべき鏡像問題は視空間における上下・前後・左右の問題である。従って物理的な帰結と認知メカニズムとの間に何らかの対応関係を見つける必要がある。従来説は事実上すべて、この点を明示的に考察していない。従ってあらゆる場合の鏡映反転の認知について包括的に記述することに成功していない。さらに、等方的な幾何学空間は幾何光学的プロセスにおいてだけでなく、観察者による認知メカニズムにおいても一定の重要な役割を担っていることは後述するとおりである。

2.2.2 鏡像認知の問題と鏡像問題

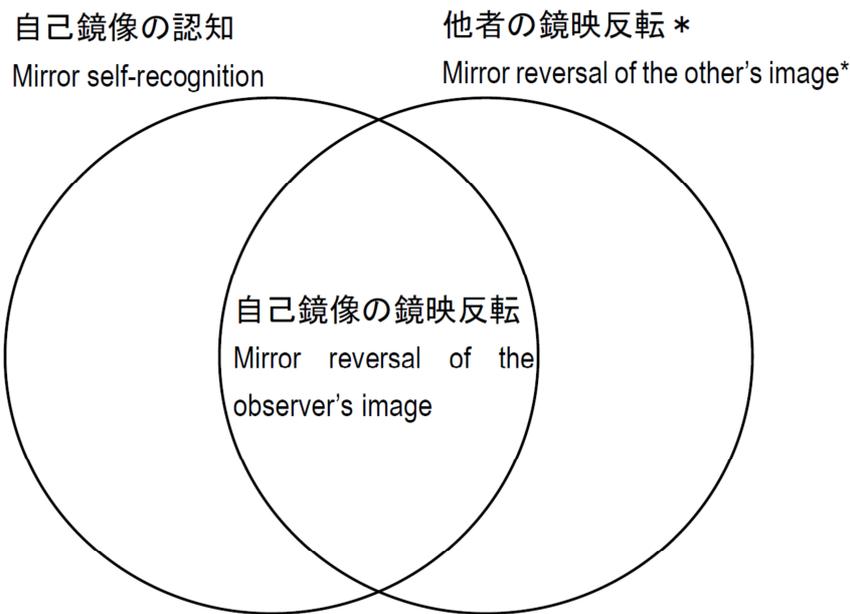
従来説の多くは自己鏡像の鏡映反転を主要な対象としている。しかし次節で説明するとおり、本来は観察者以外の他者のケースから考察を開始すべきであり、また鏡映反転のメカニズム自体は他者の鏡映反転だけで完結するはずである。とはいえ鏡像問題は当初から自己鏡像の問題として提起されることが多かったことも確かである。そこで本稿では用語に関して次のように定義して考察を進める：

鏡像問題 (mirror image problem) : 自己鏡像（観察者の鏡像）の認知を含めた鏡映反転の問題全般。

鏡映反転問題 (mirror reversal problem) : 他者鏡像（観察者以外の像）の鏡映反転に限定。

下記考察の結果、自己鏡像の鏡映反転と他者の鏡映反転は次の図で説明できる。

図 1



* 他者には観察者自身で見ることの可能な自己の身体部分が含まれる。
*The other includes the observer's own body parts that can be seen by the observer

一般に鏡像は「実物の鏡像」と考えられ、鏡映反転も「実物と鏡像」の関係と考えられている。しかし比較されるのは観察者に認知される像であり、両者は共に観察者の網膜像に由来する。鏡像が鏡を介しているのに対し、他方は鏡を介さないだけの違いである。共に1人の観察者に知覚される像であり、唯1人の視空間に属すものである。従って鏡像と対をなす対象を実物とは表現できない⁴。鏡像と対をなす対象は、本稿では単に「像」または「直視像」と呼ぶ。また両者を鏡映対、両者の関係を鏡像の関係または鏡映関係と呼ぶ。日本語で鏡像関係といえは対掌体と同義語になるからである。

観察者自身の直視像は存在せず、鏡像と見比べることはできない。したがって厳密には自己鏡像の鏡映反転は成立しない。そこで他者の鏡映反転からの類推が必要になる。例えば図を描き図中の人物を観察者に見立てて考察する場合、図中の人物は誰から見ても他者である。また研究

者は図を描かないまでも，1人の本人ではない観察者を想定する．英語圏の著者であれば読者を「You」と呼び，読者を観察者と想定することがある．この「You」は著者からみて他者である．また自己の頭部以外の身体の大部分を見ることは可能であるが，その場合も視覚的には，各部は自己の外部に見える他者である．こうして自己鏡像の鏡映反転は自己鏡像の認知と他者（自己の身体の一部を含め）の鏡映反転との合成とみなすことができ，上図が得られる．以上から，鏡映反転の機構は他者像で考察すれば十分である．他方，自己鏡像の鏡映反転は直接見ることのできない自己の顔面を含む頭部の像の認知を含むゆえに多面的な展開が期待されるのではないだろうか．自己鏡像の鏡映反転は鏡映反転のメカニズムを踏まえたうえで，自己鏡像認知問題の一環として考察すべきと考える．また他者の像でも鏡像だけしか認知できない場合は鏡映反転が成立しないことに留意すべきある．

2.2.3 三種類がある「逆転」あるいは「反転」

鏡像問題に特有の術語が1つでもあるとすれば，それは「(上下・前後・左右)逆転」または「反転」を置いて他には考えられない．しかし「逆転(反転)」の意味を直ちに正確に把握することは極めて困難である．小亀(2008)が，鏡像問題で言われる左右逆転について「形状の逆転」と「位置・向きの逆転」との区別を強調したことは示唆的である．しかし当該論文では他の諸説と同様，観察者自身の鏡像が一義的な問題として考察されており，鏡映の関係が「実物」と「鏡像」の関係であるとして議論されている．前段で述べたように，鏡映の関係は1人の観察者が実物を直接観察した像と，鏡を介して観察した像との，対等な2つの像における関係であり，唯1人の観察者の視空間内での関係である．

それを前提とし，図 3 のような 1 人の観察者が他者の鏡像を観察する状況を分析すると，左右（上下，前後）逆転と表現される関係には 3 種類の異なった逆転の認知が含まれていることが明らかになる。

① 意味的逆転：上と下，前と後，左と右，それぞれの意味（定義）が逆転すること

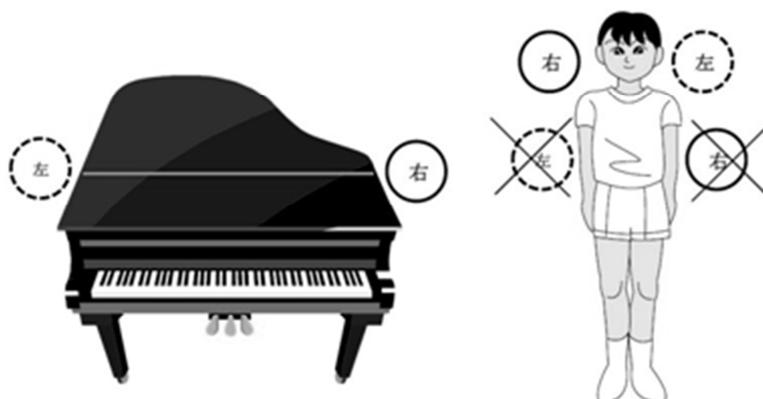
② 方向軸の逆転：少なくとも 1 つの方向軸の向きが，2 つの像で逆になること（どの方向軸であるかは確定できる）

③ 形状の逆転：完全に同じ形状の特徴を持つ 2 つの像で，形状の特徴の各部分が 1 つの方向軸で逆の位置にくること（どの方向軸であるかは確定できない）

（意味的逆転）

図 2 は①の意味的逆転の説明である。

図 2



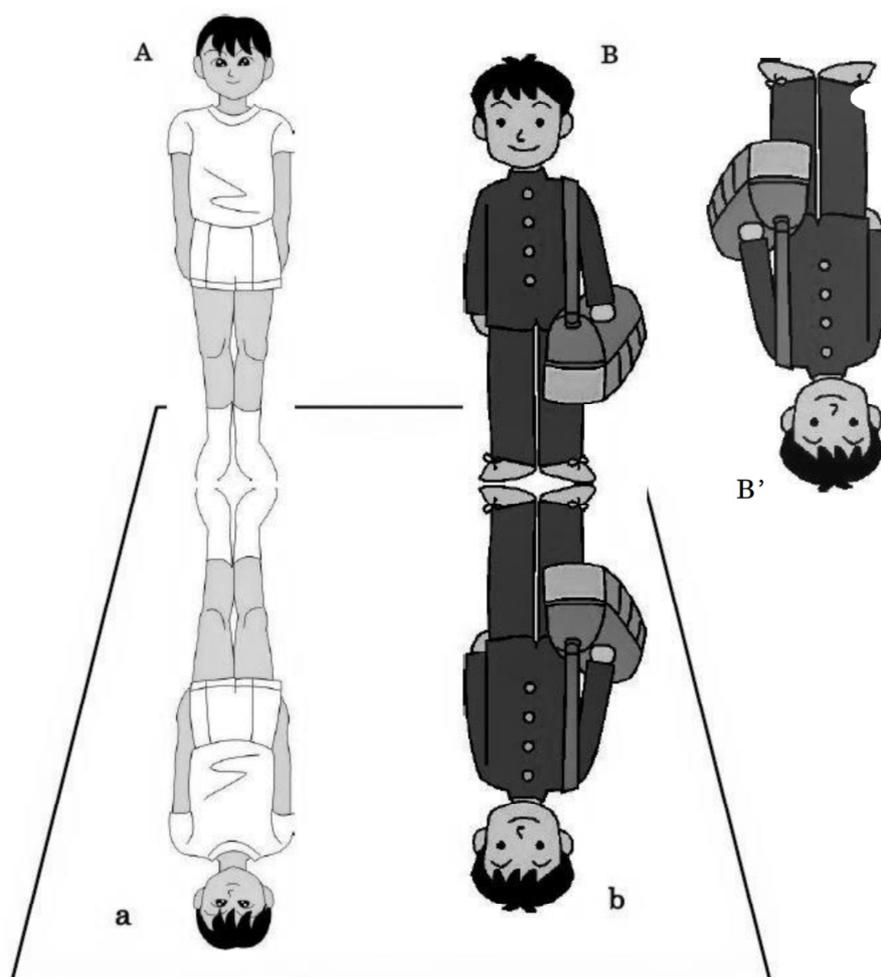
ピアノの左右は普通，演奏者と同じ側であり，奏者の左右と一致するが，奏者はピアノと向き合うので，奏者の前後はピアノと逆向きになる。従って人物が図のようにピアノと横並びに並ぶと前後が揃い，左右は逆

になる。それは人物とピアノで左右の意味（定義）が逆転していることになる。ヒトにピアノと同じ左右を適用した場合はヒトの左右の意味を取り違えることになり、これは誤った認知である。この種の間違い、例えば対面する人物像の左右を取り違えることは、鏡像であるか否かに関係なく、現実に起こり得る。

（方向軸の逆転）

上記②の方向軸の逆転と③の形状の逆転は、次の図 3 で説明される。この図は 2 人の人物像 A と B が床面の鏡に映っているところを 1 人の観察者が見ている様子であるが、右の B' だけは少年の像 B を 180 度回転させたものである。

図 3



AとAの鏡像であるaとを,またBとBの鏡像であるbとを比べると,どちらの場合も一見して明らかに上下が逆向きで互いに逆転している.しかしAとAの鏡像ではないbとを比べても,またBとBの鏡像ではないaとを比べても上下が逆転している.またBとB'でも上下が逆転しているが,同時に左右も逆転している.以上の逆転はいずれも上下の逆転で,互いに鏡映の関係である場合も鏡映の関係ではない場合もある.容易に直感的に認知できるこの逆転は,それぞれの像の方向軸(上下軸)の逆転である.

(形状の逆転)

一方,Bは左肩に鞆をかけているのに対してBの鏡像であるbは右肩に鞆をかけている.またAとAの鏡像であるaのシャツのしわに見られる抽象的なパターンを見ると上下でも逆転しているように見えるが,Aでは右わき下から斜めに流れるしわがaでは左わき下から流れているので左右逆転にも見える.この種の逆転は正確には形状の変化というべきであるが,「③ 形状の逆転」と表現することは可能である.ただ,逆転する1方向軸を必ずしも上下軸と確定できないのである.上の例で少年の絵の場合は鞆の位置から判断して左右で逆転と見られたが,次節で説明するように上下で逆転とも前後で逆転とも見られる.以上を表で整理すると次のようになる.

表 1

	方向軸の逆転	形状の変化
A と a (鏡映関係)	上下軸逆転	あり (任意の 1 軸で逆転)
A と b (別人の像)	上下軸逆転	なし (形状の特徴が一致しない)
B と b (鏡映関係)	上下軸逆転	あり (任意の 1 軸で逆転)
B と a (別人の像)	上下軸逆転	なし (形状の特徴が一致しない)
A と A' (180 度回転)	上下軸および 左右軸逆転	なし (両者は同形)

2.2.4 方向軸の逆転と形状の逆転との違い—形状の逆転とは形状変化の一つの表現である

方向軸の逆転は、2 つの像で、両者に共通する空間内で方向軸が互いに逆向きになることであり、その方向軸は確定している。この共通空間は観察者の視空間ではあるが、2 つの像の方向や形状を相対的に比較する時点では幾何学空間と化している（後述）。

他方、形状の逆転は即座に直感的に認知することが困難な場合が多い。その理由は、形状の逆転は、実際には形状の変化ないし差異であって、両者で形状が方向において逆転していると言っても見方によってどの 1 方向で逆転しているともみられ、逆転方向が確定しないからである。さらに上表で分かるように必ず 1 つの方向軸の逆転を伴うので、それが形状の比較に影響を与えるからであり、軸を想像力で移動や回転をさせて比較する必要も生じうる。

A と a および B と b の関係において左右が逆転しているとみられたの

は頭の方を上，足の方を下とする定義を維持したからである．つまり両者共に頭の方を上と定義して上下方向を一致させて形状を比較したのである．一方，仮に少年の絵で靴の方向を常に左であると定義したとすれば B と b 共に左右の方向が維持されるので，そのまま 2 つの像を重ね合わせると頭と足の方向が互いに入れ替わることになり，上下で形状が逆転することになり，形状の逆転する方向は方向軸の逆転と一致する．また一方の像を裏返して他方に重ねると両者の輪郭は完全に重なり，輪郭の形状に変化は見られない．しかしこの場合は一方が裏返っているのであるから人物像の前後が逆転していることになる．

形状の逆転を正確に確認するには両者を重ね合わせるか各部を照合する必要があるが，幾何学的な形状は位置や方向とは無関係なので一方をどのように移動，回転させてもよい．これについては 4.2.5 で詳述している．

以上から，鏡像の関係（鏡映関係）に特有の逆転は，形状の逆転（③）を伴う 1 つの方向軸の逆転（②）であることが分かる．このような逆転は鏡映関係以外でも起こりうる（例えば左右の手を対称的に向かい合わせた場合）．ただし，鏡映関係にある 2 つの像では必ずこの種の逆転が正確に生じている．形状の逆転を伴わない方向軸の逆転はすべて鏡映関係ではない．

このように，鏡映反転のメカニズムは上図でいえば A と a または B と b のように，ただ一つの鏡映関係で認知メカニズムを考察すればよいので，それ以外の，例えば A と b との関係などに考察の対象を広げると，鏡映反転のメカニズムからの逸脱が生じる．

2.3 従来理論における上下・前後・左右の概念の取り扱い

(Pears (1952)とそれ以前の鏡像問題)

Takano (1998) による従来説の概観で最も古い文献として挙げられているのは Pears (1952)の「The incongruity of counterparts」である。この論文で著者は Kant (1783)が『プロレゴメナ』で「incongruity of counterparts」という問題を提起し、その問題自体はヴィトゲンシュタインが「それは空間が3次元を超える次元を持たないからである」と答えたことで解決したが、「左右がこのような性質を示すのに、なぜ上下はそうではないのか」という疑問に答えていない点で不完全であり、この小さな問題は残されたままであると述べている。

Pears はカントが置き去りにした鏡像問題に戻ったとも言える。Kant (1783)が『プロレゴメナ』で論じた問題は鏡像問題そのものでも鏡像に固有の問題でもなく、左右の手や球面上の大円に対称な三角形の対などの図形を含めた鏡面对称をなす形状対一般の問題である。カントはこの種の形状対は互いに重ね合わせられない形状であり、直感的に違いが区別できるが、「悟性が内的差異として指摘し得るようなものは何ひとつ見出せない」とした。

後にマッハは『プロレゴメナ』を参照し、この種の形状の対は幾何学的に区別できることを示してカントの推論を批判した。この種の対は現在、対掌体と呼ばれる対である。Kant (1783)も Mach (1906)も、両者が重なり合わない異なる形状であることを問題にしているが、鏡像左右逆転については問題にしていない。例に挙げられている左右の手にしても球面上の三角形にしても鏡像ではなく、また固有の上下・前後・左右を持たないものである。それらの対が互いに異なった形状であることは、カントの場合は感性的直観とされたが、マッハは幾何学的に識別可能なことを証明した。カントの直観にとっても、マッハによる幾何学的識別

においても上下・前後・左右の概念は必要とされない。このようにカントからマッハ、あるいはヴィトゲンシュタインに到る議論では現実の鏡映対の認知ではなく対掌体の問題として、普遍的な三次元形状と空間の問題になっていたので上下・前後・左右の概念は捨象されていた。ただ、鏡映関係にある対が対掌体の対であることはこの時すでに明らかになっていた。

このように鏡像の左右逆転は当初から、純粹な幾何学上の問題から、はみ出していたのである。この問題はむしろ日常言語的に提起された謎であった。Tabata & Okuda (2000)では「左右」の定義を一般用語辞書に求めている。また Gardner の説は高野によって「言語習慣説」とも呼ばれ、Tabata & Okuda (2000)説で導入された「左右軸の従属性」は左右の定義と関係している。つまり、上下・前後・左右は幾何学的な概念ではなくそれぞれが固有の意味を持ち、量的ではなく質的な概念である。

上述のとおり Mach (1906) は鏡面对称の対が幾何学的に識別できることを証明したが、そこに上下・前後・左右は存在しない。しかしマッハは同じ著書の別の論文で上下・前後・左右の意味について重要な発見をしている。

³上下・前後・左右が異方的な知覚空間に固有の属性であり、等方的な幾何学空間の属性ではないことについて

この主張の根拠は 3.1 で説明しているが、冒頭の序論でもカッシーラーを引用することで論じている。ここでさらに付け加えると、結論から言えば、少なくとも鏡像の問題を考察する限り、幾何学的な規定（鏡映対が互いに対掌体であること）の中に上下・前後・左右の概念は含まれず、上下・前後・左右は視空間のみの属性とみなして考察可能である。

本文で引用しているとおり、カッシーラーは知覚空間を所与の空間、つまり私たちが直接認知する空間とみなし、等質空間、すなわち等方的な空間は所与の空間ではなく、「幾何学の思考空間」であり、「作図によって作り出された空間なのである」と述べている。上下・前後・左右が幾何学空間の属性ではないことについては、本文中の 3.1 で引用しているとおり、カッシーラーはマッハによる次の文章を引用している。

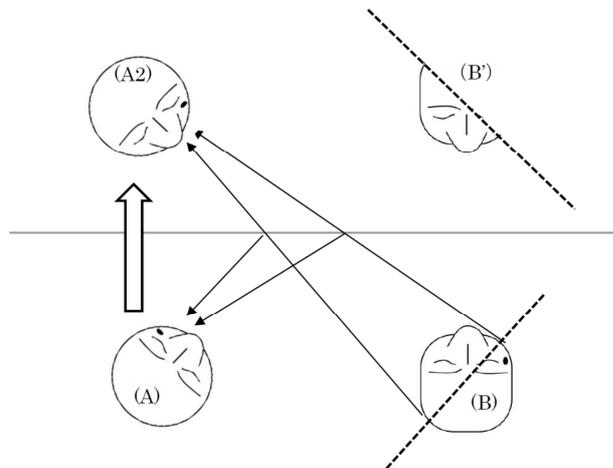
「生物のもつ主な方向性、前と後ろ・上と下・左と右は、視空間と触空間という 2 つの生理的空間において、ともに等価的ではないという点で一致している」

ここでマッハは上下・前後・左右を生物の持つ主な方向性と規定し、視空間と蝕空間における上下、前後、左右の異方性について述べている。マッハは別のところで物理的空間というものを想定し、空間の電磁気学的な性質から、これを異方的であるとしているが、カッシーラーはこれについては取り上げていない。それは、カッシーラーは認識形式としての空間について語っているので、物理的空間というものは想定していないと考えられる。いずれにせよ、鏡像問題の物理学では幾何光学のみが問題になるので、物理的空間なるものを想定する必要はないといえる。

以上のように、マッハによってもカッシーラーによっても、上下・前後・左右は幾何学空間の属性ではなくヒトの知覚空間に属するものであるという考え方に帰着する。これは私たちの常識的あるいは日常的な感覚にも合致している。現実には、純粋な幾何学において、上下・前後・左右の概念が使われているだろうか。確かに、対称性において左右対称という用語や、化学分野においては分子構造で左型とか右型、あるいは左巻きとか右巻きとかの用語が使われることがあるが、純粋に幾何学的概念とは言えず、やはり人間の知覚空間に基づいた表現である。少なくとも鏡像問題で問題になる鏡映関係と対掌体対の関係では、その幾何学的表現である「対掌体」を説明する「任意の方向軸において形状の特徴が互いに逆転する」という表現においても、上下・前後・左右の概念は意味を持たない。

他方、カッシーラーが「所与の空間」であると見なしている知覚空間の一つである視空間は私たちが日常的に視覚で対象を認知している空間そのものであり、そこで上下・前後・左右が定義できること、また視空間の中で視覚認知されるヒトや道具などの形状が上下・前後・左右、表裏等の方向軸を持つことも自明のことである。見出しの命題は、少なくとも鏡像の問題に関する限り問題なく成立しているといえる。換言すると、鏡像の問題では幾何学的な推論の範囲内にとどまる限り、上下・前後・左右が関わる問題に立ち入ることができない。

⁴本文ではこの結論を、鏡映対が網膜像に由来するという観点から説明したが、次の図によるもっと直感的な説明が可能である。この図においてAは観察者でBは観察対象の人物とする。この配置では、Aが見る鏡像を(B')のように表現できる。この鏡像に対応する(B)は鏡を取り払い(ハーフミラーならそのままでも可)AがA2の位置まで移動して直接Bを見る場合の像になるはずであり、(B)の波線の前側で(B')に対応する。(B)は、光源としては実物を表現しているが、形状を視覚的に認知するのはあくまでも人物(A2)が眼を通して認知する波線の前側のみであり、鏡像と鏡映対をなす対象は実物とは言えず、直接の像すなわち直視像と言うべきである。



また、色や平面パターンは眼で見ることで始めて視覚的に認知されるものであり、実物の属性とは関係があるとはいえず実物の属性とは全く別もので

ある。包括的に言えば、何らかを科学的に比較する場合は同一の属性でしか比較できない。実物の属性と像の属性とは異なるのである。実物としての B 君には物質として重さや諸々の物理的属性があり、同時に心や感情を持つのである。どうして鏡像の属性と実物の属性とを比較できようか。

なお、上図で網膜像に由来するかぎりの像は波線の前側のみであるが、前章の注 2 で説明したような意味的な認知で言えば、像を人間の像であると認知できたとすれば、その時点で立体としての人間像を認知しているのであり、見えない部分の存在も正確に認知できないながら想定されているといえる。

換言すると、視空間の中で直接認知できるものは視覚像のみであり、実物そのものは視覚的に認知できるものではないということである。

3. 本論考の方法論

3.1 鏡映対の認知における視空間の異方性と幾何学空間の等方性

1 つの像とその鏡像、2.2.2 で定義した用語を使えば直視像とその鏡像の対、すなわち鏡映対は幾何学的に鏡対象と言われる形状の対であることは上述のカント以来の議論の中でもすでに明らかになっている。現在この関係は数学的にも鏡映 (mirror operation, reflection) と呼ばれ、対の両者は互いに対掌体と呼ばれるように右手形と左手形の関係になっていることが了解されている。この認識は鏡像問題におけるこれまでの成果において Gardner (1964) 以来の幾つかの所論でも共有され、主流の説明原理となっている。多幡 (2007) によればこれは立体幾何学的事実であり、「対掌体」という用語によって立体幾何学的に定義された形象の対は互いに任意の 1 軸または直交する 3 軸が逆転した形状とみられるとされる。従来説ではこの幾何学的なプロセスを、上下・前後・左右を基準とした現実の視空間における認知メカニズムに正しく反映できていなかったのである。

現実の視覚その他の感覚による認知が幾何学的な思考とは異なり、異方的な知覚空間に基づいていることを最初に指摘したのは恐らくマッハである。Mach (1906) は前記の対掌体に関する記述とは別の文脈で「生

物のもつ主な方向性，前と後ろ・上と下・左と右は，視空間と触空間という2つの生理的空間において，ともに等価的ではないという点で一致している」と述べている。カッシーラー（1925）はこれを引用し，等方的な幾何学空間と異方的な知覚空間について，冒頭で引用した説明を与えている。それは（1）等方的な幾何学空間は作図によって作り出された思考空間であり，（2）異方的な知覚空間は感覚により直接知覚される空間であるが，そこでは位置と方向の同質性がなく，一つ一つの位置が固有の資質と価値を持っている。以上2つに要約される。カッシーラーは神話的空間を語っているが，幾何光学と視覚認知が問題になる鏡映反転の問題では幾何学空間と知覚空間の一つである視空間の2つを問題にすれば十分である。

3.1.1 幾何学空間と視空間それぞれの性質と識別

冒頭のカッシーラーによる説明は異方的な視空間よりも等方的な幾何学空間について重点的に説明を加えている。それによれば，等方的な幾何学空間は所与の空間ではなく思考空間である。それに対して異方的な視空間は所与の空間である。異方性は等方性よりも理解しがたい印象を与えるかも知れないが，要するに視空間は私たちが現実に視覚に基づいて認知している空間そのものであり，いわば常識空間である。上下・前後・左右は視空間（知覚空間でもある）の属性であるというのも，現実に私たちが上下・前後・左右について認知しているとおりである。こう考えると，視空間には次の二通りの上下・前後・左右のあり方が存在することが分かる。

1) 視空間固有の方向軸：個人の視点を中心とした視空間自体の上下・前後・左右の方向であり，当然ながら後方は見えないが，振り向くことで確認は可能である。

2) 視空間内で識別される個々の形象が持つ固有の方向軸：

a) ヒトや多くの動物あるいは道具などで固有の 3 つの方向軸としての上下・前後・左右

b) 明確に上下・前後・左右の方向軸を決められない場合で表裏，縦横奥行きなどの部分的な概念が用いられる

c) 幾何学的形状や不定形の自然物などを含め，あらゆる形象に，視空間自体の上下・前後・左右に一致する方向軸がそのまま適用される場合がある。

以上はすべて常識的に自明と思われる規定である。

幾何学的な形状は本来，上下・前後・左右とは無関係である。 また対称性のような幾何学的な量や概念を上下・前後・左右の基準と結びつけるのは，後述（4.1.3）のように誤った帰結に導かれる原因となる。

換言すれば，異方的な知覚空間は意味の空間であり，上，下，前，後ろ，右，左はそれぞれ固有の意味を持っている。 他方，幾何学空間を座標軸で表すために用いられる x ， y ， z の符号は相対的な数値と方向を表す約束事としての記号であり，相互に交換可能なものである。

3.1.2 鏡像を含む思考空間—幾何光学の空間との違い

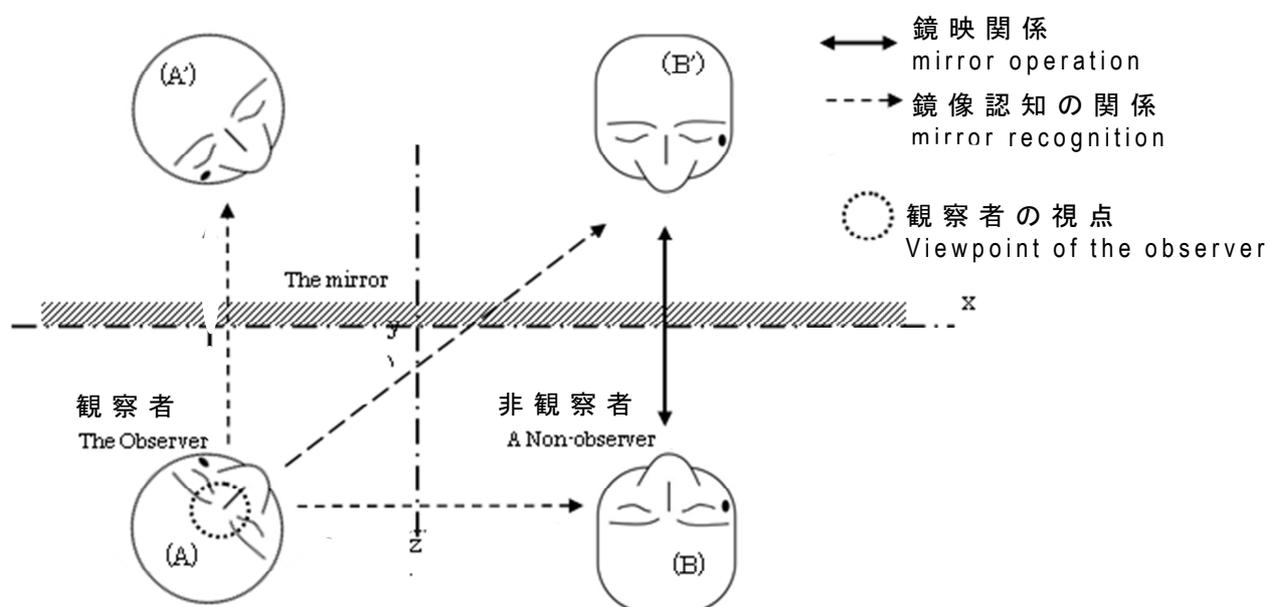
鏡像の考察ではよく次の図 4 に類する図が描かれる。この種の図は幾何光学の空間そのままではないが幾何光学に基づいている。岩波理化学辞典第 5 版の項目「結像」には幾何光学が次のように記述されている。

「実在の空間を物体の集合とみなしたものを物体空間 (object space)，像点の集合とみなしたものを像空間 (image space) という。両者は相重なるが，光学系の前のものを物体空間に，後のものを像空間にあてる。 光学系による物体空間の像空間への変換が結像であり，物体を物体空間

の部分空間とみれば，変換された像空間の部分空間が像である。」この定義によれば物体空間と像空間は重なっているが，像が成立した後は像空間である。この説明には観察者が含まれないが，虚像を表現するには観察者が必要で，観察者の視覚により物体もその位置で像に変換され，さらに第三者（著者と読者）が観察者を見ることを想定すれば，観察者も像に変換される。このように，観察者の像を含めた図4は幾何光学の帰結に基づいた思考空間であり，等方的な幾何学空間である。

図 4

鏡像が存在する場合の像の対と関係の種類



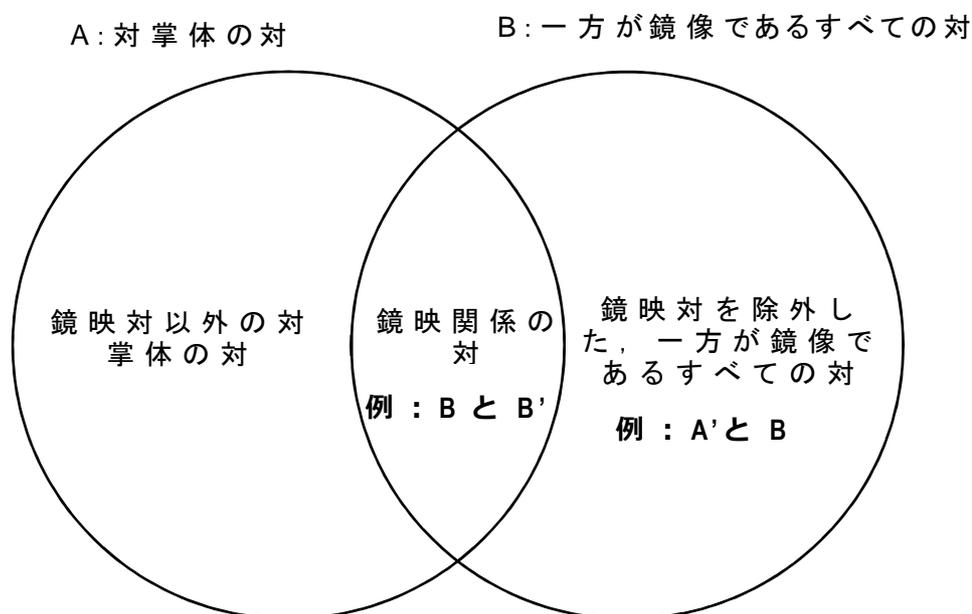
この図は観察者（A）の視空間ではないが，Aの視空間はこの図から想像できる。AとA'は図を見る読者にとっては共に他者であり鏡映関係に見えるが，Aの視空間内では鏡映対ではない。これまでの考察から，上図の中で鏡映反転の対象はBとB'との関係だけであることが判明する。AとA'の関係はAによる自己鏡像の認知であり，Aとその他の像との関係（破線）もAによる認知の関係であり鏡映関係ではない。BとB'以外のすべての関係は鏡映関係ではない。鏡映関係以外の関係で逆転が観察

されたとしても，それは意味的な逆転か方向軸の逆転のみで形状の逆転はなく，鏡映反転には関与しない．この図により，2.2.2で指摘した鏡像認知と鏡映反転との関係は明確に示される．つまり鏡映反転の問題ではAの視空間で認知されるBとB'の関係だけを問題にすればよいことになる．

3.2 鏡像問題（鏡映反転）の対象範囲の画定

前項のBとB'の関係である鏡映対は互いに対掌体であるが，対掌体の対ではあっても任意の位置にあるのではなく，鏡映の位置関係にあるので，一方が直視像であり他方がその鏡像であるという関係である．鏡像を含む空間において鏡映反転の対象となる像の対は次の図によっても明確に示される．例としてA, A', B, およびB'は図4の人物像を示す．

図 5



この図の重なった部分が鏡映関係にある対であり，互いに鏡面に対して面対象の関係にある対である．この対は互いに対掌体であるという条件（a）と，対の一方が鏡像である（b）という2つの条件が重なって

る。これは形状の条件と同時に位置関係の条件も存在していることを示している。従って、鏡映反転を考察するには形状の関係だけでなく位置関係も考慮する必要がある。この位置関係には鏡面に垂直な方向軸の逆転が含まれる。従って鏡映反転は形状の逆転を伴う1つの方向軸の逆転であり、これは2.2.3と2.2.4で図3を用いた逆転の説明と一致する。

1) 位置の認知と鏡像認知のプロセス

物理学が基づく幾何学空間は物理学や物理学者のみならずヒト一般の空間認知にも関与している。正確な三次元的位置を認知するには視空間による直感では不正確であり、「作図によって作り出された」等方的な測量空間が求められる。これは通常の数学的な座標系で表すことができ、図4もそれである。

これは鏡像認知のプロセスでもある。鏡像認知は「鏡に映った像を自己のものだと認識すること」の意味で使用されることが多い。しかしそれ以前に、他者の像で、鏡の背後に光学的に生成する虚像を直視像の鏡映として認識するプロセスが存在するはずである。このように考察すると、鏡像認知とはまず鏡面に面対称の位置すなわち鏡面から正負の等距離に一对の「同一」とみなされる形象を認識することに始まることであり、これは鏡面を含む幾何学的な座標系を使用していることに他ならない。従って鏡像認知では、鏡面反射による幾何光学の帰結が理解されているとみることができる。そうでなければ単に一对の形状が認知されるだけで、一方が他方の鏡像であるとは認識されないはずである。これは鏡像認知が高等な精神機能とされる所以であり、この種の認知能力について Mach (1906) が次のように述べているとおりである。「手を使うのであれ、人工的な物差しを使うのであれ、物体相互の比較を〔を始める〕

と同時に、われわれはすでに物理学の領域に足を踏み入れているのである。物理学的規定はすべて相対的である。」

この、ヒト一般による物理学的で幾何学的な鏡像認知は、あくまでも位置の認知であって意味を持つ形状ではない。しかし点の位置が個々の形状単位について拡張解釈され、鏡面に垂直で正反対の位置に同一の形状があるものと認識される。この段階では両者の形状の差異は認知されていない。

以上、鏡映反転の考察における方法論的プロセスを列記した。

4. 方法論の適用による鏡像問題理論の再構築

4.1 従来説の参照

4.1.1 Tabata & Okuda (2000) の参照

従来 of 諸説中には、幾何学空間の等方性と視空間の異方性に基づいた説明は見られないが、対掌体の性質に基づいた説明は主流の説明原理といえ、その中で、前記の認知科学誌『小特集—鏡映反転』(2008)において Tabata & Okuda (2000) および Yoshimura & Tabata (2007) の成果を併せた理論として多幡 (2008) が説明している理論は、事実上、対掌体の成立を条件とした最後の理論である。この理論が基づく条件は次の多幡 (2008) からの引用に要約されている：

「鏡像の謎を再定義すれば次のようになる。

『一枚の平面鏡に非対称な物体を映し、実物と鏡像に対し固有座標系を個別使用すれば、両者の左右非対称性の特徴は逆になるが、上下については逆にならない。これは何故か。』

これに対する答えを導く準備として、三つの事実を述べる。

(1) 1枚の平面鏡は鏡面に垂直な方向について、向きを逆に映す（幾何光学的事実）。

(2) 非対称な物体を任意の一方向（上下、前後、あるいは左右のどの座標軸でも、また、座標軸から外れた方向でも良い）にそって逆向きの形にすると、もとの物体の対掌体になる（立体幾何学的事実：対掌体とは、例えば右手に対する左手のような形態関係にある物体のこと）。

(3) 物体または鏡像に固有の上下・前後は、外面的条件によって独立に決まるのに対し、左右は上下・前後に依存して決まる従属的な軸である（ヒトの体が外見的にほぼ左右対称であることに由来する事実：左右軸の従属性）」

以上の引用箇所は Tabata & Okuda(2000)に該当している。引用の「(1)」は、本稿の 3.2 で述べた位置と距離の関係であり、「(2)」は対掌体の性質であり、何れも等方的な幾何学空間における関係である。それに対して「(3)」の「左右軸の従属性」は、異方的な視空間の 1 つの性質として検討すべきものである。上下・前後・左右は異方的な視空間の属性であり、何らかの従属性は他方の優位性を意味し価値的な差異を示すからである。

このように、この理論は本稿の 3 章で考察した方法論の基本的な要素を満たしている。しかしここで提起された左右軸の従属性は理論的な根拠が明確に示されないままに上下・前後・左右の 3 軸決定プロセスとされたため、結果的に左右以外での形状逆転が説明できなかった。本稿は視空間の異方性を理論的根拠として左右軸の従属性を再解釈したのである（後述）。

4.1.2 従来理論における左右軸の従属性の意義と誤謬

「左右軸の従属性 (Subordination of the left-right axis)」は Tabata & Okuda (2000) で導入された用語で、多幡 (2008) では次のように定義している。

| 28

「物体または鏡像に固有の上下・前後は、外面的条件によって独立に決まるのに対し、左右は上下・前後に依存して決まる従属的な軸である(ヒトの体が外見的にはほぼ左右対称であることに由来する事実：左右軸の従属性)」

この3つの方向軸決定プロセスにおける左右軸の性質が「左右軸の従属性」とされたが、この表現自体は抽象的でかなり幅が広い解釈が可能である。しかし Tabata & Okuda (2000) においても、事実上同一の理論とされる Corballis (2000) においても、この性質は方向軸決定プロセスとしてのみ表現されている。しかし方向軸決定のプロセスをそのまま鏡像の左右逆転の原因とすると左右以外での逆転が説明できないので、その部分を補足する理論として Yoshimura & Tabata (2007) 理論が提唱されたことは 2.1 で述べたとおりである。この理論は、それ自体も検証されているとは言えないが、Tabata & Okuda (2000) をそのまま受け継ぎ、修正を加えずに維持している。しかし方向軸決定プロセスが左右逆転の原因であるとする論理には誤謬を見いだせる。

例えば、Corballis (2000) は次のように述べている。「The left-right axis is special because it depends on the prior establishment of the top-bottom and back-front axes precedence in establishing the canonical orientation of an object, leaving the left-right axis to carry the burden of the reversal」。

引用中の「burden of the reversal」とは何であろうか。これは擬人的な表現で、逆転を生じさせる任務ないしは義務と受け取れる。これでは最初

から左右逆転が予定されていることになる。これは論点先取り (begging the question) の誤謬で、同語反復 (tautology) ある。この論点先取りは Tabata & Okuda (2000) にもあり、「the reversal that has produced the enantiomorph is necessarily attributed to the left-right axis」という記述がある。対掌体の関係は2つの像からなる対としてのみ成立し、形状の逆転は2つの像の相対的な関係であり、個別の像に上下と前後を決定することとは全く別の性質である。現実には人は鏡像を見て上下と前後を正しく判別してもそのまま直視像と比較することもなくその場を去ることが普通であり、鏡像であることにさえ気が付かない場合も少なくない。この種の理論では、観察者が2つの像を比較した上で生じる形状の逆転という認知内容を、鏡像の左右軸そのものの性質であるかのように扱い、最初から左右以外での逆転が排除されていたのである。

こうして、この種の理論では比較プロセスが見逃されていることになる。2つの良く似た立体像の差異を正確に認知するには想像力による両者の重ね合わせや各部の照合などの比較プロセスが必要なことは、ヒトの顔のように左右差が微妙な例を想定してみれば明らかである。形状の差異が大きい場合も、鏡像に方向軸を適用した時点で無意識的に直視像の記憶と比較している。

実例として再び図3の少年の鏡像で検証してみよう。鏡映対に各方向軸を正しく適用すると、直視像の方は左肩に鞆を掛け、鏡像の方は右肩に鞆をかけているので確かに左右で形状が逆転していることになる。それにも関わらず一方の像を平行移動させて鞆の位置を合わせると頭と足の方向で形状の逆転を見て取ることは可能である。これは矛盾ではない。前記の表現は左右軸以外での形状の逆転については何も語っていないのである。形状の逆転は二者の比較による相対的な関係である。少年

像の一方が左に鞆を掛け、他方が右に鞆を掛けているという状態は、何れも単独で成立し、片方だけでも認知できることで、二者の比較による相対的な関係ではない。

鍵は、再び幾何学空間の等方性と視空間の異方性である。形状の逆転は純粹に幾何学的な形状の差異に起因するところの、2つの像における相対的な関係であり、等方空間で認知されるので、像の方向軸とは関係がない。各像に固有の方向軸は意味的な形状に由来するので、個別の像は異方空間で認知され、形状の逆転は共通する等方空間で純粹に幾何学的に認知されている。このように異方空間と等方空間は共存している⁵。これは知覚と思考あるいは想像が共存していることに対応している。

4.1.3 上下、前後、左右の意味と本質

方向軸決定のプロセスが鏡像の左右逆転の原因であるとする理論はまた共通して3つの方向軸決定プロセスが、人体などが左右対称に近いことに由来とすると述べている。これ自体は次に検証するとおり間違いである。

上下と前後は対象の形状によって決まるのに対し、左右は上下と前後に依存して自動的に、形状とは無関係に決まるのである。従って対象の形が左右対称に近いか否かには関係がない。またこの理論は必然的に、上下と前後それぞれの非対称性が左右の非対称性よりも大きいという比較の論理に基づいている。しかしこれだけでは上下と前後の区別も、上下軸のどちらが上か、前後軸のどちらが前かをも決定できない。それ以前に、左右が上下や前後と同様に非対称な立体は多々存在する。図2のグランドピアノなどもその例である。ヒトの場合も姿勢は通常、左右で非対称的に変化し、衣服や持ち物も左右対称ではない場合が多い。

ここでも鍵は視空間の異方性と幾何学空間の等方性との差異にある。
前後・上下・左右は視空間の属性であり，対称性は幾何学空間の属性であるので上下・前後・左右と対称性の差異とは無関係である。 視空間の属性である上下・前後・左右は，個々の像においては上方とか前方を暗示する意味的な形状である。例えば頭部は上方を暗示し，顔面は前面を暗示する。このように対象に上下と前後を暗示する形状の部分があれば左右の対称性とは無関係に上下と前後，そして左右が定まる。

では方向軸決定のプロセス以外に左右軸の従属性といえる性質はあるのだろうか。左右軸の従属性とは本来，左右に対する上下と前後の優位性に他ならない。通常環境において上下と前後は左右に比べてはるかに重要な意味を持っている。それは上下と前後は人体などの形状からすぐに認知できることに現れている。この点でヒトなどに限って言えば体形が左右対称に近いことも認知しやすさに寄与しているとはいえる。例えば図3の少年像の鞆のように，左右を識別する要素は左右対称の人体に一時的に付加されたその場限りの要素であり，左右で逆であっても不自然ではない。しかし図2のグランドピアノのように左右の特徴が固定している形状で上下と前後が認知できないわけではない。

このように左右軸の従属性と表現できる性質は確かに存在し，それは方向軸決定プロセスに先行する性質である。方向軸決定プロセスは左右軸の従属性の一つの結果であり，態様の一つに過ぎない。

一方，立体の上下と前後が定まると左右の方向が形状とは無関係に自動的に決まるという性質は何を示すのであろうか。これは異方的な知覚空間の最も基本的な性質であり，恐らくは知覚空間の異方性そのものの表現といえるが，本稿での考察はこれまでとする。

4.2 包括的な鏡映反転の認知プロセス

4.2.1 すべての鏡映反転に共通する認知の構造

すべての鏡映反転に共通する条件の範囲は図5の2つの円の重なった範囲で与えられ、この範囲で鏡像と直視像は互いに鏡映関係であり、必然的に対掌体の関係にある。対掌体の概念は等方的な幾何学空間で成立し、任意の一軸で互いに逆転した形状の対と表現される。任意の一軸となるのは、等方的な幾何学空間ではどの方向にも価値的な差異がなく、特定の一軸を規定し得ないからである。しかしヒトが対掌体の対を認知する所与の視空間は異方的であって、「一つ一つの位置がその固有の資質と価値を持っている」。観察者の視空間においてこの対掌体の対は、観察者にとって何らかの意味を持つ特定の一軸で逆転したものと認知され、その有意な一軸は多くの場合上下・前後・左右の何れかになる。この「有意の一軸」との表現で、すべての鏡映反転が包括される。いわば幾何学空間における「任意の一軸による逆転」が、視空間における「有意の一軸による逆転」に翻訳される。自己鏡像の鏡映反転は「他者の鏡映反転 + 自己鏡像の認知」であるので、このプロセスは自己鏡像の鏡映反転にも反映されなければならない。

4.2.2 鏡映反転における思考プロセス

従来、鏡像における形状逆転の認知がほぼ自動的な知覚プロセスとみなされていた傾向がある。逆転の認知を「変換」と表現する場合もその表れである。鏡像は直視像が変化したものではなく、両者は併存する対である。したがって「逆転」の認知は観察者による能動的な両者の比較によるものであり、高度な思考過程を含むものである。この思考過程が高度な幾何学にまで至れば対掌体の概念にまで到達する。こうして、鏡

映対が対掌体であることを学習した人は他の人とは違った見方も可能になる。

思考は知覚に比べて、個性や各種条件に影響されやすく、自由な選択の余地も残されている。幾何学的には任意である形状逆転の方向の認知が左右に限られないのは当然でもある。とはいえ万人に共通する多くの条件が確実に存在するので、それらを次節の表に整理し、考察を進める。

4.2.3 鏡映反転の認知において進行する一連のプロセス

次の表は知覚と思考による一連の認知プロセスを3段階にまとめたものである。

表 2

認知段階	認知内容	物理的条件		認知能力的条件		両方
		鏡面と観察者 および観察対象の存在	鏡像の成立	対掌体 対の成立	鏡像認知能力	
前提条件 (環境)						様々な個別条件
		鏡像の成立	対掌体 対の成立	虚像が鏡像として認知される	三次元的 形状の認知	
ステップ 1 鏡像認知	直視像と鏡像の位置関係が認識される	○	○	○幾何学空間 (等方的)		
ステップ 2 鏡映反転 全般	何らかの逆転の認知	○	○	○ 視空間 + 幾何学空間	○	
ステップ 3 個別の鏡 映反転	左右逆転	○	○	○	○	○
	前後逆転	○	○	○	○	○
	上下逆転	○	○	○	○	○
	その他の逆転	○	○	○	○	○

表 1 において：

(1) 「○」は、条件の存在を示す。

(2) ステップ 2 は何れかの一軸逆転が認知される可能性を秘めた直感的な形状変化の認知状態である。

(3) ステップ 3 の「その他の逆転」には逆転が認知されない場合が含まれ、個人的資質その他の諸条件が関わっている。

4.2.4 形状の特徴と位置関係による態様の分類

鏡像と直視像との形状比較において想定できるさまざまな条件を、形状の特徴と位置関係の要素カテゴリーで整理したのが次表である。

表 3

要素	分類	細分類
観察対象	本人	本人の顔面, 本人身体の各部
	本人以外	人間, 動物, 生物, 人工物, 地形, 天体
形状の性質	対称性	対称面の有無, 対象中心の有無, 回転対称軸の有無
	立体か平面か	立体, 平面パターン
	その他の特徴	具体的な形状の特徴, 文字など
位置と方向	観察者	各種の姿勢と位置
	鏡面	各種の位置と方向
	観察対象の位置と方向	各種の位置と方向(姿勢)
視野	観察者の視野	鏡像のみが見える場合, 鏡像と直視像が同時に見える場合, その他

すでに分析したとおり、観察対象が観察者本人の場合は「鏡映反転のプロセス」+「自己鏡像の認知プロセス」として考察できる。その他の特殊なケースとして次のような場合があげられる。

(1) 内部に対称面を持つ形状の場合：

内部に対称面を持つ形状の場合は直視像と鏡像が同形になるために形状の逆転は生じないが，正確に観察すれば現実には殆どあり得ない。

(2) 平面パターンの場合：

立体の表面であればその立体の形状で説明される。二次元パターンとみなした場合は1軸の長さがゼロで形状の逆転はなくなって同形となり，観察者との位置関係により，直視像を裏側から見たパターンになる。

(3) 視野の中で直視像と鏡像とが同時に見える場合：

直視像と鏡像を比較するプロセスで，直視像と鏡像が同時に視野に入る場合は並置（平行移動）による即時的な比較が可能になる。

視空間の異方性の様々な態様としてその他の様々な条件が成立し，左右軸の従属性と競合し，打ち勝つ可能性もある。

次節では，常に上下・前後・左右のセットが用いられるケースに限定して，鏡映反転の認知プロセスを具体的に検討する。その他の表現が使われる場合も上下・前後・左右の表現に置き換えられる場合もある。純粹に幾何学的な形状の立体は例としてあまり意味がない。

4.2.5 鏡映反転における左右軸の従属性の作用機構

左右軸の従属性は，2つの像を比較する際に方向軸の向きを合わせる際の優先順位として考察できる。ただしこのプロセスは後から考察するとおり，視空間と幾何学空間が共存する過程である。

2つの像で特定の方向軸の向きを合わせることはその方向軸の定義を維持することであり，その方向軸での逆転を認めないことである。 対の一方を回転させて特定の方向軸の向きを合わせることは，3つのうち2つの方向軸の向きを合わせ，最後に残された互いに逆転する方向軸を形状の逆転方向とすることに他ならない。 対掌体の対を比較するすべての

場合を含めると軸方向の揃え方には次の4通りの組み合わせが可能になる。

表 4

鏡像	直視像			
上	上	上	下	下
前	前	後	前	後
右	左	右	右	左
	左右逆転	前後逆転	上下逆転	3軸逆転

3軸逆転のケースは特定の方向軸の向きを合わせた場合には生じない。またこの状態は対掌体一般の対ではあり得ても、鏡像の場合には生じ得ないので除外できる。

何れの場合も1つの方向軸が逆転しているので、回転操作なしでも逆転している方向軸と同じ軸上で形状の逆転が認知されうる。その場合は鏡面に垂直な軸かそれに最も近い方向軸での形状逆転が認知される。従って人物の鏡映対が鏡面を介して互いに向き合っている場合は前後軸が逆転し、前後軸での形状逆転が認知されるのが自然であるが、この場合にも左右の逆転が認知されるとすれば、観察者はあえて対の一方を、上下軸を中心に180度回転させ、意図的に前後軸の方向を揃えていることになる。その際、最初は逆転していなかった左右軸が逆転するので、結果的に後から左右軸を逆転させたことになる。この場合に左右が逆転することもいとわずに前後軸を合わせるための回転操作を加えることは、左右軸を軽視して優先的に前後軸の方向を合わせたのであり、左右軸の優先度が低いことを意味し、左右軸の従属性という表現が適切であることが確認できる。

しかし上述の操作は普通無意識的に行われる。というのは、上下軸は最初から一致している上、人物を比較する場合は直立した正面像で比較

するのが常であり，必然的に上下と前後が揃うからである．正面像の概念自体が上下軸と前後軸の優位性の現れである．

さらに詳細な分析には実験的調査が待たれるが，以上の想定から次の表 5 の結果が推定される．

表 5

鏡面に垂直または垂直に近い軸方向	比較に際して観察者が回転操作を加えるか否か
前後軸（背と腹）	正立像の場合，上下軸を中心に180度回転させて前後を合わせることで左右逆転が認知されることが多い
上下軸（頭と足）	鏡の位置（壁面か床面か）等の各種条件の影響が想定され，実験的調査が待たれる
左右軸（左側と右側）	回転させずにそのまま左右逆転が認知される可能性が高い

表 5 の右の欄の記述は著者の個人的な推定である．一般に鏡像は左右が逆転するものとみなされており，従来説での左右軸の従属性はそのことを前提とした説明原理である．ただし左右軸以外での形状逆転が認知（あるいは選択）される可能性も周知のとおりである．とはいえ左右逆転が優勢であることはほぼ確実であるので，このような推定を行った．

一方，鏡像の左右逆転という問題は一般的にも，諸説においても，自己鏡像で議論される場合も多かったが，本稿の考察は他者鏡像に限定したので，実地調査をすれば一般的な常識とは異なる可能性も否定できない．しかし一般には自己鏡像以外にも，分かりやすい例として文字盤付

きの時計や自動車など擬人化されやすい機器類が例に挙げられる場合も多い。

並行移動と軸回転によって像を重ね合わせる比較プロセスは、移動や回転によって形状の意味が変化しない等方的な幾何学空間内での心的操作であるが、個々の像は異方的な視空間で認知されている。この点で両方の空間が共存する非常に複雑な思考過程と言え、最終的には対掌体の認識に至る。また像の一方は記憶像なので想像力と推理力による高度な心的操作となるが、観察者の自己鏡像の場合はさらに複雑な自己鏡像認知の問題でもある。

鏡映反転の認知において左右軸の従属性と競合し、打ち勝つ可能性がある要因としては 4.2.5 で検討した方向軸の逆転方向、すなわち鏡面に垂直な（垂直に近い）方向軸が有力である。これは「鏡面に垂直な方向軸の従属性」ともいえる。この方向軸が左右軸と一致すると左右軸の従属性は強化されるが、左右軸以外と一致する場合は左右軸の従属性と競合し、それに打ち勝つ場合も生じ

⁵ 等方空間と異方空間とが共存しているという点については、それ自体があり得ないと考える人もいるように思われるので、本文の説明と重複するが、ここで両者の共存に何の問題もないことについて重ねて強調しておきたい。また一口に共存といっても共存のし方はさまざまであることについても留意されたい。両者の共存は上記 2 つの空間の定義上、当然のことなのである。カッシーラーが述べているとおり、また本文でも説明しているとおり、等方空間は所与の空間ではなく思考空間なのであり、いわば思考するための道具ともいえる。他方、異方空間は知覚、この場合は視覚で直感的に認知される空間で、これをカッシーラーは所与の空間であるとしている。実際、眼を開いて視覚で知覚している限り常に所与の視空間は存在している。幾何学的な思考をしている場合もこの空間が消えることはない。人が幾何学的に思考する場合、いわば認知された異方的な所与の空間を、等方的な思考空間の中で操作しているといえる。本章で述べている回転や平行移動などはそういう思考上の操作である。

5. 要約と補足，および考察と今後の課題

5.1 要約と補足

1) 鏡像は単独では直視像と区別できず，鏡映反転も成立しない．直視像と比較されることで初めて鏡映反転が成立する．

| 39

2) 鏡映関係は鏡像と実物との関係ではなく，鏡像と鏡を介さない直視像との関係である．自己鏡像の場合は直視像が存在しないので，それ自身では鏡映関係が成立しない．

3) 自己鏡像の鏡映反転は自己鏡像の認知と他者鏡像の鏡映反転との 2 つのプロセスに分析できる．多くの従来説は鏡映関係を鏡像と実物との関係とみなした上で自己鏡像の問題から出発して解明を試みていたので，この分析が行われず，問題を複雑化し，逸脱が生じていた可能性が高い．

4) 上記の分析に基づき，自己鏡像の鏡映反転を含む問題を「鏡像問題」と再定義し，「鏡映反転問題」を，自己鏡像のケースを含まない他者の鏡映反転に限定する再定義を行った．本稿では鏡映反転の方を包括的に考察した．鏡映反転は鏡像問題の基礎部分を構成する．

5) 鏡映反転の認知は上下・前後・左右が基準となる所与の，異方的な視空間で成立する．しかし鏡映対は物理的な幾何光学的プロセスで成立するので，上下・前後・左右を持たない等方的な幾何学空間で記述される．また等方的な幾何学空間は鏡映反転の認知プロセスにおいても一定の重要な役割を果たしている．すべてのプロセスで等方的な幾何学空間がどのように関わっているかを識別する必要がある．

6) 等方的な幾何学空間における形状は幾何学的な形状（長さや角度，あるいは対称性などで規定される）であるが，異方的な視空間における形状は意味を持つ形状（ヒト，頭，手足など意味で規定される）である。

7) 鏡像空間を含め，一般に空間内の二者間で上下・前後・左右などの逆転として認知される現象には，①意味的逆転，②方向軸の逆転，および③形状の逆転の3種類があり，鏡映反転に関与するのは形状の逆転(③)を伴う1つの方向軸の逆転(②)のみである。

8) 鏡映反転が認知される以前に鏡像認知（自己鏡像認知ではないところの）のプロセスが存在する。それは鏡面から正反対で等距離の位置に鏡映関係の対を認知するプロセスで，幾何学空間による認知である。

9) 鏡映関係の対は幾何学的には互いに対掌体であり，等方的な幾何学空間において任意の一軸で形状が逆転しているとみられるが，ヒトの異方的な視空間においてはこの任意の一軸が特定の有意の一軸となり，多くの場合に左右軸が充てられる。

10) 上記の有意の一軸を決定するプロセスは2つの像を比較するプロセスであり，自動的な知覚に加えて記憶力と想像力を使用する思考によるところが大きく，自由選択の余地もある。このプロセスでも視空間と幾何学空間の両者が関わっている。

11) 各像に固有の3つの方向軸は立体像の上下と前後の形状の特徴（頭

部，顔など）によって定まるが，形状の対称性とは直接の関係を持たない．この場合の形状の特徴は異方空間の性質として意味的な特徴であり幾何学的な属性ではない．

12) 左右軸の従属性は視空間における上下と前後の優位性の表現である．視空間には鏡映反転において左右軸の従属性と競合する各種の条件が存在または発生し，打ち勝つ場合には左右軸以外での逆転が認知（選択）される．

上記の中で「9)」が，鏡映反転のあらゆる場合を包括した表現である．

鏡像では「前後や上下ではなく左右だけで形状の特徴が逆転するのはなぜか」という設問は，左右以外の逆転が認知される可能性がある以上，設問に誤りがあるとしなければならない．各種の条件を付ければ，または自己鏡像に限って考察すれば，事実上は左右逆転に限られる場合もあり得るが，その場合も絶対に左右でなければならないという固定した原理のようなものは考えられない．

緒論でのべたように，本稿の第一の意図は科学を含めたヒトの認知において知覚空間の異方性と幾何学空間の等方性の意義を示すことにあつたが，それは予想を超えた範囲で実証されたものと考えている．等方空間は対掌体の成立という物理的な局面だけではなく認知のメカニズムにおいても，特に鏡像認知的プロセスと，2つの像を比較するプロセスにおいて重要な役割を演じていることが確認できたからである．

5.2 今後に残された課題と可能性

5.2.1 鏡映反転のさまざまな対象と態様

表 3 で分類したような鏡映反転のさまざまな態様については今後の課題である。平面パターンで文字のケースは各種の考察が行われているが、幾何学空間の等方性と視空間の異方性に基づいて再検討できるのではないだろうか。また鏡映反転の要素と鏡像認知の要素とを識別することが重要である。

5.2.2 自己像の鏡映反転と自己鏡像認知問題への寄与

本稿では自己鏡像の鏡映反転については本来の鏡映反転と区別しただけでそれ以上は考察しなかった。しかし自己鏡像を含む鏡映反転すなわち鏡像問題の要素としての他者の鏡映反転の基礎が確立されたので、鏡像問題のみならず自己鏡像認知の研究の進展にも寄与できるものと考えられる。

5.2.3 認識空間における等方性と異方性の意義

等方的な幾何学空間と異方的な知覚空間の不一致に関わる認知問題は Panofsky (1924-25) によって美術史における遠近法の研究に適用されている。この、遠近法的美術史的研究では、本稿でカッシーラーから引用した同じ個所が同研究の基調概念として引用されている。しかし認知科学においては視空間の異方性だけが、量的な問題として扱われてきたように思われる。例えば幾つかの文献でも言及されている Rock, I (1973) は視空間の異方性について「In any case it would be misleading to think of form changes induced by changes in orientation as exemplifying anisotropy」と述べ、軽視している。しかし彼は視空間の異方性を質的に、すなわち意味的に、幾何学空間の等方性との比較において考察していない。例えば認知される形状が傾きによって変化する例として、正方形を傾けること

で菱形として認知されたり，顎髭を生やした老人に見える線描を回転するとアメリカ合衆国の地図に見えたりする現象を挙げているが，この種の認知される形状は幾何学的な定義ではなく意味的定義であり，量的には扱えない．また彼は想像力による形状の回転操作を重視しているが，この操作を等方空間における思考に基づくものと理解することで，さらに有意義な理論構成と展開が可能になるとと思われる．

5.2.4 上下・前後・左右の意味と用語法

この問題については現在，諸々の分野で十分に確立されているとはいえない．この分野ではさらに研究が求められる．

5.2.5 視空間の概念から見る哲学的認識論との関係

本稿では鏡映反転を自己鏡像認知の問題から分離できたものと考えが，それは鏡像を含む空間全体がただ1人の観察者の**視空間**であるという認識を徹底させたからである．視空間は1人の観察者の視覚にのみ依存する空間であり，その中に存在し得るのは他者の像のみである．従って鏡映関係は像と物体の関係でも像と観察者の関係でもなく像と像との関係であることが明確になった．また視空間の異方性と幾何学空間の等方性との差異による鏡映反転の説明が可能になったのもやはり，視空間の概念を掘り下げたことにある．一般に空間そのものについては伝統的に哲学的な課題と考えられているのに対し，視空間や知覚空間の概念は心理学などで普通に用いられる科学上の概念とみられている．しかし，今回の中心概念である幾何学空間の等方性と知覚空間の異方性との対比は哲学者による哲学的認識論に由来しているといえる．マッハは心理学者としてこのような着想を得たとしても，その後続く多くの心理

学者がマッハのこの発見を受け継いだようには思えない。一方、哲学者のカッシーラーはこのマッハの着想による知覚空間を神話的空間に近いものとし、幾何学空間とは異なる質的あるいは意味的な空間として等方空間と併せて哲学的認識論に取り入れたのではないのだろうか。ここから科学と哲学、特に認識論との関係について将来への何らかの示唆が得られるのではないかと考えるものである。

謝辞

本稿の作成にあたっては前回 2014 年に提出したテクニカルレポートに引き続き、大阪府立大学名誉教授の多幡達夫先生には多大なご支援を頂いたことを深く感謝申し上げます。ちなみに著者は、多幡先生が毎日新聞 2007 年 12 月 9 日の東京朝刊にて記者に答えた「鏡像問題は、物理的に説明できるという考え方と心理がかかわっているという考え方が争ってきた。物理的理解をしっかりと踏まえた上で、心理的研究をさらに進めるならば、今後の鏡像問題研究はますます興味深くなると思う」という発言に沿ってそれを実践しているつもりである。

また長年の友人である太田原和敏さんからは忌憚のない感想を得ることにより、特に文章表現と構成の面での再検討と再構成のきっかけをつかむことができた。それ以外にも何人かの友人やこの問題で公開しているブログ記事に頂いたコメントからも大いに得るところがあり、感謝申し上げます。最後に本稿で使用している少年と少女、およびピアノの画像はリコージャパン株式会社がインターネットで無料提供している画像を利用したものであり、このような本稿の目的にかなった画像が得られたことは幸いであった。当該会社とイラストレーター氏に感謝申し上げます。

文献

- Kant, I. PROLEGOMENA ZU EINER JEDEN KÜNFTIGEN METAPHYSIK, DIE ALS WISSENSCHAFT WIRD AUFTRETEN KÖNEN (1783). 篠田英雄訳『プロレゴメナ』岩波書店 (1979). | 45
- Mach, E. Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen (1918). 須藤吾之助・廣松渉訳『感覚の分析』(1971) 法政大学出版局.
- Mach, E. Erkenntnis und Irrtum-Skizzen zur Psychologie der Forschung (1906) and Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen (1923). 野家啓一編訳『時間と空間』(2008) 法政大学出版局
- Cassirer, E. DIE PHILOSOPHIE DER SYMBOLISCHEN FORMEN Bd.II. Das mythische Denken (1925). 木田元訳『シンボル形式の哲学 第二巻 神話的思考』(1991) 岩波書店.
- Panofsky, E. Die Perspektive als "symbolische Form" (1924-25). 木田元 監訳 川戸れい子 上村清雄 訳 (2009) 『<象徴形式>としての遠近法』ちくま学芸文庫.
- Pears, D. (1952). Why do we blame the mirror for reversing left and right? Cognition, 275-283.
- Martin Gardner. The new ambidextrous universe (1964). 坪井忠治, 藤居昭彦, 小島弘訳 『自然界における左と右』紀伊國屋書店.
- Rock, I (1973). Orientation and Form, (New York: Academic Press).
- Takano, Y (1998). Why does a mirror image look left-right reversed? A hypothesis of multiple processes Psychonomic Bulletin & Review, 1998, 5 (1) 37-88.
- Tabata, T. & Okuda, S. Mirror reversal simply explained without recourse to psychological process. Psychonomic Bulletin & Review, 7 (1) 170-173 (2000).

Corballis, M. C. Much ado about mirrors. *Psychonomic Bulletin & Review*. 7 (1), 163-169 (2000).

McManus, C. (2002). *Right Hand, Left Hand*. London: Wiedenfeld & Nicolson.

吉村浩一『鏡の中の左利き』ナカニシヤ出版(2004).

小亀淳(2005). 鏡像認知の論理. 『認知科学』, 12(4), 320-337.

Hirokazu Yoshimura, Tatsuo Tabata (2007). Relationship between frames of reference and mirror-image reversals. *Perception*, 2007, volume 36, pages 1049-1056.

小亀淳・多幡達夫・高野陽太郎. 小特集 — 鏡映反転: 「鏡の中では左右が反転する」のは何故か? 第1部: 小亀説, 第2部: 多幡説, 第3部: 高野説. 『認知科学』VOL. 15, NO.3 Sep. (2008).

Takano (Published online: 26 Jul 2013) Mirror reversal of slanted objects: A psycho-optic explanation. *Philosophical Psychology*.

岩波理化学辞典第5版 岩波書店 (1999)

須田朗『哲学キーワード辞典』(木田元編)中の項目「空間」, 新書館(2004)