JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	視線追尾データを用いた図的推論における思考対象の分析
Author(s)	深谷，拓吾
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/374
Rights	
Description	Supervisor:下嶋 篤，知識科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修　士　論　文

視線追尾データを用いた図的推論における思考対象の分析

指導教官　　下嶋 篤　助教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識システム基礎学専攻

950075　深谷 拓吾

審査委員：下嶋　篤　　助教授（主査）
杉山　公造　　教授
石崎　雅人　助教授
藤波　努　　助教授

2002 年 2 月

Copyright　　2002 by Takugo Fukaya

目　次

目　次 1
1 章　はじめに 2
1.1.　研究の目的と背景 2
1.2.　本論文の構成 5
2 章　図的推論における視覚心像 6
2.1.　図的推論における視覚心像の２つの可能性 6
2.1.1.　内的な対象としての図の可能性 6
2.1.2.　介在された言及 6
2.1.3.　写実的な表現と抽象的な表現 7
2.1.4.　メンタル・アニメーション 10
2.2.　推論における視覚心像 11
2.2.1.　メンタル・モデルと三項関係問題 12
2.2.2.　視覚心像と眼球運動 13
3 章　視線追尾による図の視覚心像検証 16
3.1.　現実空間と図的空間の違い 16
3.2.　予想される図上の視線の動き 18
4 章　視覚心像の空間性に関する調査 22
4.1.　目的 22
4.2.　方法 23
4.2.1.　評定者 23
4.2.2.　素材 23
4.3.　結果 24
4.4.　考察 25
5 章　図的推論における視線追尾実験 26
5.1.　目的 26
5.2.　方法 26
5.2.1.　被験者 26
5.2.2.　実験素材 27

5.2.3.　予想される視線の動き－仮説－ 30
5.2.4.　実験機材と環境 32
5.2.5.　実験デザインと手順 32
5.2.6.　視線データの分類 34
5.3.　結果 37
5.3.1.　定量的結果－場所別停留時間分析 37
5.3.2.　場所別停留回数分析 41
5.3.3.　その他の結果 46
5.4.　考察 48
6 章　結論 53
6.1.　まとめ 53
6.2.　今後の展望 54
謝辞 56
参考文献 57
付録 60

図　目　次

図 1.1　図的推論では，頭の中で図の表象を利用している場合と図が表現している対象の表象を利用している場合が考えられる． 3
図 2.1　写実的な表現（左）と抽象的な表現（右）（ Schwartz, 1995 ）..... 8
図 3.1　三項関係問題に対して与えられる図：犬が猫よりも上..... 17
図 3.2　三項関係問題に対して与えられる図：猫が犬よりも上..... 17
図 3.3　視線が予想される位置：豚が図の上に予想される場合（左図）：豚が図の下に予想される場合（右図）..... 20
図 4.1　評定の目盛り 24
図 5.1 前提１を表現した図：図の上が前で図の下が後ろという規則がある. 29
図 5.2　縦軸図：対象 X が対象 Y よりも上 29
図 5.3　縦軸図：対象 Y が対象 X よりも上 29
図 5.4　横軸図：X が Y の左にある..... 30
図 5.5　横軸図：X が Y の右にある..... 30
図 5.6　対象 X（犬），対象 Y（猫），：対象 Z（豚）はどこに予想されるか？ 31
図 5.7　実験の流れ..... 34
図 5.8　視線データの分類に用いる領域：縦軸図 36
図 5.9　視線データの分類に用いる領域：横軸図 36
図 5.10　停留回数を調べる領域：図が縦軸..... 41
図 5.11　停留回数を調べる領域：図が横軸..... 42
図 5.12　対象 Z が図の上方に予想される場合の停留軌跡（被験者３）..... 48
図 5.13　対象 Z が図の下方に予想される場合の停留軌跡（被験者３）..... 48
図 5.14　対象 Z が図の右側に予想される場合の停留軌跡（被験者３）..... 49
図 5.15　対象 Z が図の左側に予想される場合の停留軌跡（被験者３）..... 49
図 5.16　縦図の片方の要素を注視（被験者４）..... 52
図 5.17　横図で図の要素を往復（被験者４）..... 52

表　目　次

表 1　視覚化・空間化の難易評定 24
表 2　被験者別の場所別停留時間の平均（ミリ秒） 37
表 3　問題型 a と h における視線停留時間の平均（ミリ秒） 39
表 4　問題型ｂとｇにおける視線停留時間の平均（ミリ秒） 39
表 5　問題型ｃと f における視線停留時間の平均（ミリ秒） 40
表 6　問題型ｄと e における視線停留時間の平均（ミリ秒） 40
表 7　縦軸図の場合の視線走査パターン：括弧内は標準化残差 43
表 8　横軸図の場合の視線走査パターン：括弧内は標準化残差 43
表 9　被験者ごとの視線走査パターン：縦軸図の場合 44
表 10　被験者ごとの，視線走査パターン：横軸図の場合 45
表 11　どの関係を含む問題でもっとも予想された視線の動きが見られたか 46

1章 はじめに

1.1. 研究の目的と背景

外部表現をとおしてある対象についての推論がおこなわれる場合，推論者はその外部表現がもついくつかの制約を利用することにより対象について推論をおこなうことができる（ Barwise & Shimojima, [2] ）．このことは外部表現の一種である図を利用した推論も例外ではない．われわれが推論に図を援用する場合，図の形状の幾何学的・物理的制約や図に規定化された意味的制約などより，その図が表現している対象の状態について考えることができる．したがって図を用いて推論をする場合，思考の対象になる可能性があるものは少なくとも二つある．１： 図そのもの，と ２： 図が表している対象，である．しかし，これらの区別が内的になされているか否かは明確ではない．

もっとも，以前から推論に図を用いることの効用の一つとして，図が視知覚的な推論を補助するということ，その際，内的に図そのものの視覚的表象を操作することで推論をおこなうことの可能性は指摘されていた（ Larkin & Simon [11] ）．だが，メンタル・モデルやメンタル・ローテーションなど広い意味での視覚心像的内部表現の利用による推論についての研究は多数あるにもかかわらず，内的に表現そのものとその対象のいずれの表象[1]を推論に用いているのかという問題に関しては中立な立場をとる場合が多い．

したがって本研究は推論において内的に図そのものの視覚的表象を推論に援用するという思考形式があることを実験的に示すことを目的とする．

---

[1] 本論文ではこれ以降「表象」という用語を，とくに説明しない限り視覚心像と同じ意味で用いる．視覚的表象とも言い換える場合もある．

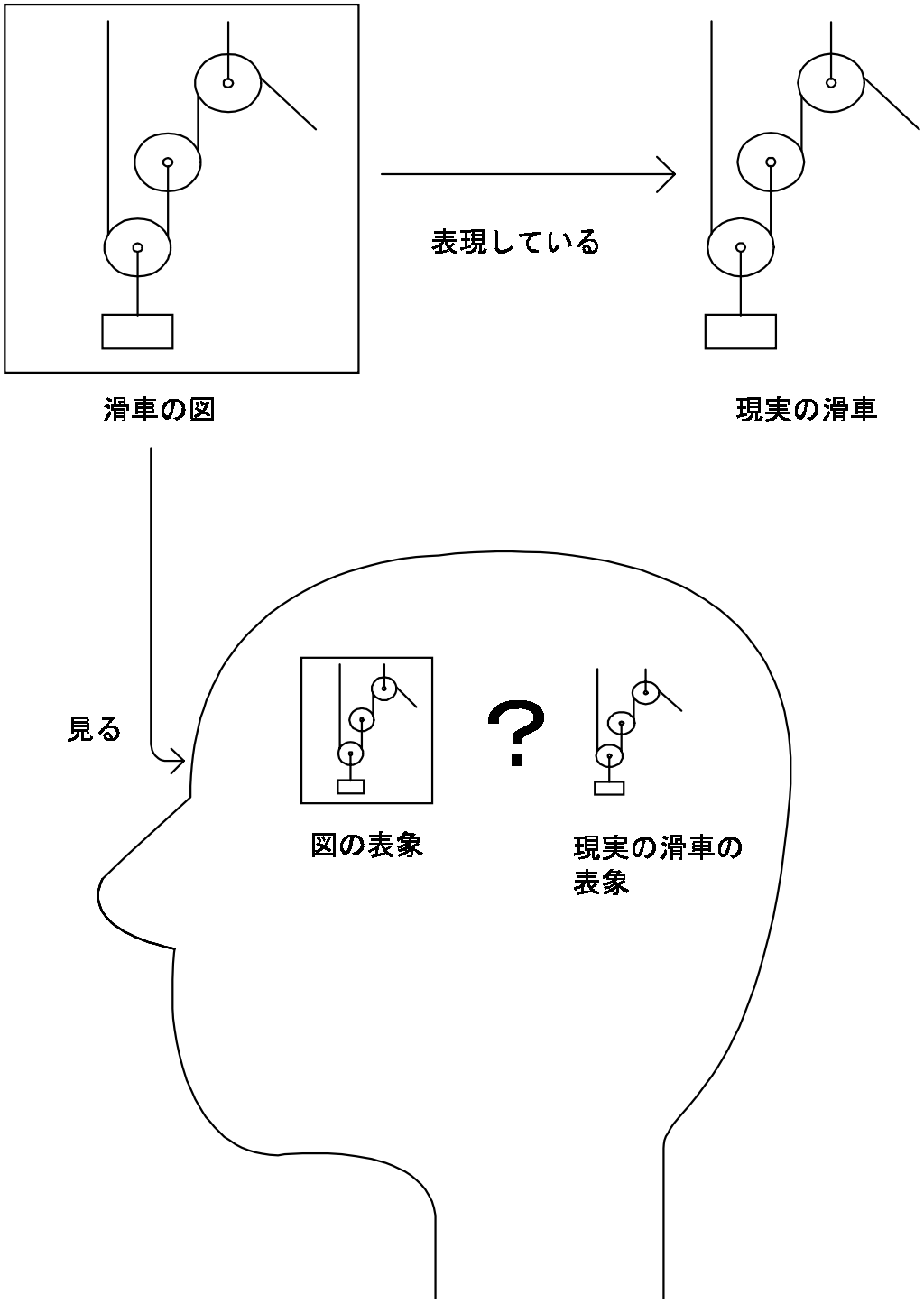


図 1.1　図的推論では，頭の中で図の表象を利用している場合と図が表現している対象の表象を利用している場合が考えられる．

具体例にそって論点を述べよう． Hegarty [6] は図で表現された滑車の動きについてどのように推論が行われるかを研究している．滑車の図は滑車の形態を具体的に表現しているので推論者は滑車の図を通して滑車の性質について考えることができる．推論者が滑車の図を実際の滑車に対応づけできるのは内的な再認の作用によってである．滑車の図が知覚され，それが内的に表象されたうえで，記憶から引き出された滑車の表象と結びついて初めて推論者は滑車についての知識を得てその動きについて考えることができる．このことから図的推論をしている推論者の内部表現の可能性として少なくとも図の表象の水準と図が表現している対象の水準の二つが考えられるだろう．しかし，Hegarty の研究では推論者が内的に滑車の図の表象を利用しているのか滑車そのものの表象を利用しているかという区別はされていない．

したがって，本研究で図的推論における内部表現の違いを明確にすることで，思考における図の役割の同定に一部寄与できると思われる．もとより内部表現の形式は様々な可能性が考えられえるが，本研究で議論するのは図の視覚的表象についてである．

最近になって図をはさんだ対話の研究（ Umata et al., [18] ）において発話プロトコルから図的表象を内的な対象として操作していることを示唆する証拠が報告されている．しかし，発話が図の内的な視覚的表象に結びついているか否かはそれほど明らかではない．また，写実度の異なる図を刺激として被験者に提示する実験をおこない，反応時間の違いから，内的に図を操作対象として使っているか否かに触れた研究（ Schwartz, [13] ）があるが，反応時間から内的表象の種類を区別しえなかったことは，イメージ論争の結果に代弁されるとおりである．

本研究では図そのものの表象を推論に援用している証拠を得る目的のために，図をともなった推論問題を解いている最中の推論者の視線の動きを角膜反射法による視線追尾装置を用いて検証する．視線の動きは推論者の思考過程を比較的反映していると思われる．したがって，推論者にいろいろな図形を見せたときの視線の動きの一般的特性がわかれば，われわれ人間の頭脳の高次中枢でおこなわれている情報処理過程の解明への一つの手がかりになることが期待できる（ 淀川ら, [19] ）だろう．

本研究では一般的に 3-term series problem などと呼ばれる，三つの対象の関係を推論する問題とともにある意味規則を持った図を被験者に提示し，被験者が問題解決をおこなっている間に図のどこを見ているかを調べる実験をおこなった．推論中, 被験者が対象そのものの表象でなく, 図そのものの表象を利用しているならば, 被験者の視線の動きは図の固有の規則に沿った特徴的な動きをするように実験はデザインされた.

1.2. 本論文の構成

本論文は６章からなる.

まず，次章では先行研究によりながら，本研究の論点，図的推論において図そのものについて推論することと，図が表す対象について推論することの違いを説明する．また，本研究の方法論的な背景である人間の眼球運動と視覚心像との関係について説明する.

３章では図的推論において，推論者の視線の動きから図の視覚心像を思考の対象として扱っているという確証を得るための手立てについて説明する．したがってこの章は５章で述べる実験の仮説でもある.

４章では５章で説明する実験のために予備的におこなった視覚心像の空間性についての尺度評定調査について説明する.

５章は３章で述べる考え方をもとに，図的推論における視線追尾実験について報告し，仮説を検証する.

６章では実験の結果をもとに考察をおこない，今後の課題について述べる.

2章 図的推論における視覚心像

この章では図的推論において，図の内的表象を用いて推論をする場合と図が表現する対象の内的表象を用いて推論することの違いを先行研究によりながら説明していく．また本研究では，推論者の視覚心像の形態を分別する方法として推論中の視線の動きを分析するが，その方法論的背景となる先行研究についても説明する．

2.1. 図的推論における視覚心像の２つの可能性

2.1.1. 内的な対象としての図の可能性

Larkin & Simon [11] は推論において図を用いることの効用の一つとして，図が自動的に視知覚的な理解を助けていると述べている．例えば，四角形とその対角線を紙の上に描いてみたとしよう．このとき対角線の交点は自動的に推測できる．命題的な表現と比べた場合，紙の上に描かれた点は知覚的に理解しやすいのである．Larkin & Simon によれば，このとき心的なイメージ （ Mental Imagery ） が外的な図によって担われている役割と同様の役割を問題解決で果している可能性があるという．紙上に四角形を描くのと全く同じやり方で四角形とその対角線を思い浮かべるとき，われわれは記憶に保たれている四角形の交点を見ようとするだろう．このように，図的推論では知覚された図が記憶の中に投影され，その記憶に保たれている図の表象を利用することで推論がおこなわれる可能性が以前から指摘されている．しかしこのことが実証的に示されているわけではない．

2.1.2. 介在された言及

最近になって図的推論に関連する研究において人が図そのものを対象として考えていると思われる事例が報告されている．

Umata ら [18] は地図などの図表をつかったコミュニケーションにおいて，図表的な表現の存在によって言葉の使い方が大きく変わるということを報告している．Umata らは二人一組で奈良のランドマークとなる建物の位置をできるだけ正確に描かせるなどの課題で収録された対話を分析し，通常の対話では見られないいくつかの特徴的な言葉の使い方を同定している．

その中でもっとも顕著な“介在された言及”（ mediated reference ） とよばれる現象は，例えば，指標的な用途の「これ」という発話が，実際の建物やランドマークについて言及する目的でなされるが，直接にはこの発話は地図上のある目印のことを指している．つまりこの目印が実際の建造物の媒介的な役割を担っているというものである（ forward mediated reference ）．これとは逆に，ある発話が実在の対象を媒介として地図上の目印などに言及しているという現象もある（ backward mediated reference ）．また，dual description と呼ばれる発話は，図表中の事象を，それが表現している状況中の対応する事象と同時に描写するというものである．

Umata らによればこれらの現象は意識されていないだけで, 図を用いたコミュニケーションにおいては頻繁に使われているという．発話が必ずしも人の内的表象を正確に反映しているかどうかということは明らかではないが, これらの現象からは, 図を用いて対象について推論する場合に内的には図の表象をもとに対象の場所を推論している可能性が示唆されるだろう．

2.1.3. 写実的な表現と抽象的な表現

Umata らの報告は図的推論において人が対象のみならず図自体について考えているのではないかということの言語的根拠を，対話データをもとに示していた．では，どのような要因によって人は対象について考えたり図について考えたりするのだろうか．Schwartz [13] は絵などの描写的表現を用いて問題解決をするにあたって，人がその表現の対象そのものについて考えている場合と，表現自体について考えている場合があると仮定して，そのいずれが使われるのかということはその表現が対象をどこまで忠実に表現するかに依存すると考えている（ fidelity hypothesis ）．すなはち，対象を写実的に表現した絵をみた人はその絵によって表

わされた対象そのもの（そして対象の動き）を思い描き，一方，対象が抽象的に描かれた絵をみた人はその絵自体の静的な表象を思い描いているという．

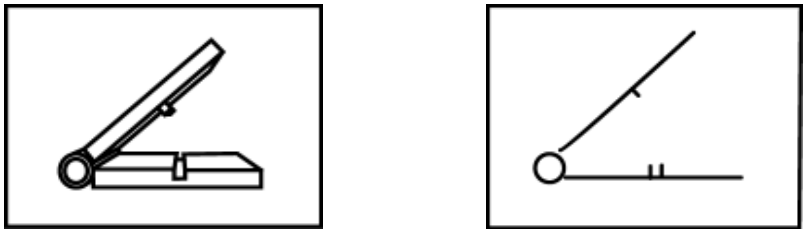


図 2.1　写実的な表現（左）と抽象的な表現（右）（ Schwartz, 1995 ）

Schwartz がこの仮説のよりどころとするところは，蝶番の動きについての問題を，写実的に描かれた蝶番の絵（図 2.1 左）と抽象的に描かれた蝶番の絵（図 2.1 右）を刺激として提示して被験者の反応時間と正答率を調べる実験の結果である．Schwartz によれば写実的表現の絵をみせた人の反応時間が短いのは，その人が表現された対象そのものの表象を心的に動かしている（ simulation ）からで，正答率が高いことも同様の理由によるとされる．一方，抽象的表現の絵をみた人の反応時間が長い理由は，抽象的表現において人は絵自身の静的な表象を思い描き，その表象の形象的な特徴を調べる（ feature-based reasoning ）ことで問題解決をおこなうためだという．なお，Schwartz の仮説では人が推論過程でこの両者の方略をとっている可能性は否定されていない．

ただここで注意しておかねばならないことは Schwartz 自身も述べていることだが，“ 特徴にもとづいた推論 ”を人がしていると考えられる場合でも，そのことが対象ではなく表現自身について考えていることの直接の証拠にはならないということである．なぜならば表現される対象とその表現は形象的な特徴を共有しているからである

このことは本研究にとって重要である．本研究では推論者が図的推論において内的に図の表象を利用している根拠を，推論中に図上を動く視線の定性的，つまり視線の軌跡の形象的な側面に求めようとしているのだが，当の図が，表現されている対象と形象的な関係を共有している限り，図上の視線の動きが意味するものは図の

表象を反映したものなのか，対象の表象を反映したものなのか判別出来ないということになる．

図によってわれわれが事象の具体的側面を理解する場合，概念の操作とともに，同型性によって他と類別された形の単位が抽出されて特定の意味内容を担う記号として扱われる （ 渥美, [8] ）．しかし視線の軌跡データから図の内的表象を用いているという根拠がこの対象と図の同型性によって無効になってしまう以上，本研究では対象との同型性から離れ，より抽象的で，命題的側面が大きい図を利用する方針をとる．

Schwartz の最近の研究 [14, 15] では上述のように，人が対象について推論しているのか，それとも図について考えているのかという論調はなくなり，かわりに simulation 的な推論はダイナミック･モデル[2]（ dynamic model ）に, feature-based 的な推論はキネマティック・モデル（ kinematic model ）という概念に発展，継承されている．

---

[2] Schwartz によればダイナミック･モデルとは空間的事象だけを表現するだけではなく，イメージされた対象のインタラクションを規定する比率（ rate ）として物理的性質の類似物（ analogs ）をも表現するものとされる．一方，キネマティック・モデルは幾つかの基本的な空間操作によって動かされたり調べられたりし得る幾何的情報（ 形，サイズ，位置 ）を持つイメージのことをいう．これらの定義からもわかるように Schwartz の最近の研究は対象そのものの表象対図の表象という図式からは離れ，むしろ図的推論が物理的な法則に則して行われるか，幾何的法則に則して行われるかということを強調している．

2.1.4. メンタル・アニメーション

図が対象の存在の代替的役割を果していることと，その対象が動的にふるまう場合に人が静止平面上にある図を通してそれが表現している対象の動的な性質まで内的に表象し得るかどうかは似ているようで別問題である．上述した Schwartz の蝶番の例と同様に，Hegarty [6, 7] も図の対象を心的に動かすことの類について研究しており，図を通して行われるこの対象の動的な操作のことをメンタル・アニメーションと呼んでいる．

では図を通して対象の動きを推論する場合に人は図のどの部分を見て推論するのだろうか．Hegarty は図で表現された滑車の動きについて人がどのように推論するのかを視線追尾装置を用いて推論中の被験者の視線を調べることで研究している．具体的には単純な滑車の組み合わせの動きを，人がその滑車システムの形状と，その滑車システムの組み合わせの一部分に関する動きの知識からどのように推理するかについて視線追尾のデータをもとに分析を行っている．Hegarty は機械システムの動きの物理的な過程にそのシステムの動きについての人間の推論過程がどれだけ似ているかということを考察した．つまり，歯車などがその代表例であるように，機械システムはすべてのコンポーネントが同時に動くので，もし，人の心的な過程が物理的に機械の動きと同一であるのなら機械のすべてのコンポーネントは心的に同時に動かされるべきである．また別の可能性として機械システムのコンポーネントは心的には少しずつ動かされると考えることもできる．この二つの可能性が検討されている．

検討にあたって Hegarty は滑車システムの図とリスト化された滑車システムの動きについての記述を被験者に提示し，その記述から滑車がどのように動くかを予想してもらい, その間, 被験者の眼球運動を視線追尾装置によって採録し観察した．

実験からは，滑車システム上での被験者の視線の動きは，システムの動きについての記述どおりの因果関係をたどることが多いという結果が得られた．この結果からは人の推論規則は指向性をもち，メンタル・アニメーションの過程は限定的なものだということが支持されている．人は，部分的にではあるが，心的に対象の動きを再現できるという．

しかし，Hegarty が用いた滑車の図では滑車の動く方向と滑車システムの形状が図の表現上では空間を共有していることに注意しなければならない．前項で述べたとおり，対象の具合的な側面を理解するには，図の対象との同型性が用いられる．このことから図上の視線の軌跡からだけでは推論者が内的に対象そのものを想像しているのか, それとも図について考えているのかということは判別できない. また, もし滑車の動きではなく滑車システムの形を単に見ている人がいてその人の視線の動きを観察したならばその人の視線の動きも滑車の動きを推論しているときの視線の動きと似たものになり判別がつかない恐れがある.

2.2. 推論における視覚心像

ここまでは先行研究に触れつつ，図を用いた推論においてその図が表わす対象そのものの表象を利用する場合と図そのものの表象を用いて推論をおこなうことの違いについて説明してきた．加えて，図の表象を用いて推論をおこなっている過程を視線の軌跡から判断することの困難について述べてきた．困難は図とそれが表現している対象との形状的な特徴が似ていることに起因していた．本研究ではこの点を解消するために Knauff & Laird [10] によって報告された n-term series problem である 3-term series problem（ 以下三項関係問題 ）と呼ばれる推移的な推論問題を用いた実験の構成を利用する. Knauff らは三項関係問題の実験の結果から対象の関係を表わす内的な表現は一種類に限らないということを主張している．本研究ではその点に注目し，内的には空間的に表現することが難しい対象の関係に対してあらかじめ対象の関係を図で示して与えることで，人が推論において図の空間配置を用いるのではないかと考えて実験を行った．実験については５章で説明する．ここではまず Knauff らが用いた三項関係問題の枠組みがどのようなものかを説明する．そのうえでこれまで根拠を示すことなく説明してきた視線の動きによって視覚心像について検討することの妥当性について述べる.

2.2.1. メンタル・モデルと三項関係問題

Knauff らの仮説はこれまでのイメージ研究で報告されてきたイメージの一貫しない効果が心的表象の視覚的性質と空間的性質の区別に失敗していることにあるのではないかというものである．長年，心理学者は視覚的イメージが推論において重要な役割を果していると議論してきた．ならば推論において視覚化しやすい素材を用いれば視覚化しにくい素材よりもよい結果が得られるはずである．しかし研究によってはそれとは一致しない結果が報告されている．その原因が心的表象の視覚的性質と空間的性質の混同にあるのではないかというのが彼等の考えである．

いったい，イメージの視覚的性質と空間的性質とはなにか．例えば「猫が犬の上にいます」ということはどのようにイメージできるのか．Knauff らは視覚的イメージのし易さと，空間的配置のし易さという２つの観点から「きれい・きたない」，「大きい・小さい」などの，関係をあらわす言葉を含む文を 10 人の大学生に７段階の評定法によって評定させた．その結果，Knauff らはそれらの関係を空間化，視覚化ともにしやすい“空間－視覚関係”（ spatio-visual relation ），視覚化はし易いが空間化はし難い“視覚関係”（ visual relation ），空間化，視覚化ともにし難い“抑制関係”（ control relation ），の三つに分類している．Knauff らはこれらの関係を用いた三項関係問題を被験者に提示してその返答までの時間を計る実験をおこなった．

三項関係問題とは３つの対象（例えば犬，猫，猿など）の関係を記した前提文からそれら３つの対象の関係を推理するという問題である．具体的には「犬は猫よりもきれいです」，「猿は猫よりも汚いです」という前提文を示した後に「犬は猫よりもきれいですか」という質問文を被験者に提示して「はい」，「いいえ」の二者択一で返答を求めるというものである．実験の結果は，“空間－視覚関係”を含んだ問題に対しての返答時間がもっとも短く，次に“抑制関係”を含んだ問題が短く，もっとも返答時間が長かったのは“視覚関係”を含んだ問題だった．これらの結果からは人が，問題として与えられた文が記述する状況のモデルを構成することで，推移的推論をしていると仮定される．Knauff らによれば，人は推論の公理や規則を持っているのではなく，単に適当なモデルを構築しているのである．例えば，「猫は猿の上にいます」，「犬は猿の下にいます」という文を読んだ人は，

猫
猿
犬

という三者の位置関係の空間的モデルを作っているという．したがって，自然に空間的モデルを導く関係を表わす言葉は推論の速度を速め，反対に「きれい・きたない」のような視覚関係は重要でない視覚的詳細まで想起させてしまう．

もっとも Knauff らの見解も被験者の回答時間にもとづいたものであるため，実際に被験者が空間的遷移をつかって推論しているかどうかは明らかではない．可能性として被験者が命題的な表象を用いて問題解決をしていることも考えられる．しかし，fMRI を用いた最近の神経学的な研究 （ Goel et al., [5] ） の成果からは，三項関係問題.の最中に脳の空間関係をつかさどる部位が活性化されるという報告もなされている．このことは本研究でも視覚心像の検討のために三項関係問題を用いることの妥当性を支持するだろう．

本研究では Knauff らのいう“ 視覚関係 ”と“ 抑制関係 ”，つまり空間的に思い描くことが難しい関係が自然に対象の空間的モデルを導かないという点に着目する．本研究の実験ではこれらの関係を含んだ三項関係問題.に対してあらかじめ対象を適当な位置に配置した図を与える．もし被験者がそれらの図の規則にそって空間的推移による推論をしているという確証が視線の動きを観察することで得られたならば図の表象のレベルで推論をおこなっていると考えられるだろう．なぜなら“ 視覚関係 ”と“ 抑制関係 ”は空間化の評定が低く，空間化の評定が低いということは対象を空間的に思い描くことが困難だからである．この手立てについては次章で詳しく述べる．

2.2.2. 視覚心像と眼球運動

イメージ中のものに呼応して人間が眼を動かしているという考えは古くは 1935 年の Totten のイメージ走査理論にまでさかのぼる. 本研究では図的推論において推

論者が内的に図の表象を用いている確証を得るために，視線追尾装置を用いて推論者が推論中の視線の動きを収録するということをこれまで述べてきた．だが，発話の場合と同じく，視線の動きが推論者の思い描く内的表象を反映しているとはっきり証明されているわけではない．徐々にではあるが最近の研究からは，視線の動きが視覚心像に関連していることを支持する結果が報告されてきている．

例えば Brandt ら [2] は６×６のマス目状の画面上にランダムに模様を配し，それを被験者に見せた後，いったんその模様を消してマス目だけの画面上で，同じ模様を被験者にイメージさせ，イメージ化している間の視線の動きを観察した．その結果，被験者の視線が停留した個所と，被験者に最初提示された模様の位置に相関があった．このことは視線の軌跡が単に視覚化された光景を反映していることを示唆するのみならず，外部表現（マス目）と内部表現との対応をも示しているともいえる．

また，Spivey ら [15] は被験者に対してある方向に関係がある叙述を聞かせ，その間の被験者の眼の動きをまぶたの上から観察した．その結果，被験者に何かをイメージしてくださいという教示をあたえなくても，また被験者が眼を閉じているときにも，被験者は空間的に述べられた光景の記述と同じ方向に眼を動かす傾向があることがわかった．

Demarais [3] は本研究でも推論問題として用いる三項関係問題を用いて, 問題解決中の推論者の眼球運動を EOG[3]によって計測している．Demarais らが三項関係問題を実験に用いた狙いは, 視覚心像を方向づけることが可能だということである．つまり，上・下関係を含む問題を解いている最中には垂直方向の眼の動きが，左・右の関係を含む問題を解いている最中には水平軸の動きが多いだろうと予想される．実験の結果，三項関係問題では有意差は見られなかったが，四項関係問題においては有意差が見られた．このことは Spivey らの研究と同様に，視覚心像と眼球の動きの間に関連があることを支持している．しかしながら，Demarais らの研究では三項関係問題で用いられた“関係”は空間を意味する左・右，上・下，のみだったため，空間化が難しい問題でも推論者が空間的推移性を用いているか否かは不明で

[3] 眼電位記録法：角膜反射法が運動の空間的特性を捉えるのと対比して，時間的特性を EOG はよく捉える．

ある．本研究では三項関係問題の解決に図を用いることで，どのような“関係”を問題中で用いても推論者が図の空間配置によって空間的推移による推論が可能だと考える．また，Demarais らは EOG を用いているために，視線の動きがどのように問題解決に役立っているかということが具体的にわからない．それゆえに本研究では角膜反射法を用いた視線追尾装置を用いることで，三項関係問題を解く際に視線が図上のどの位置にあるかを分析し，眼の動きとそれに対応した視覚心像がどのように問題解決に利用されているのかを検討する意義がある．

3章 視線追尾による図の視覚心像検証

この章では５章で説明する実験の背景となる考えについて述べる．

前章で述べたとおり，最近の研究は眼球運動は視覚心像をある程度反映していることを示唆する証拠を示しつつある．本研究では図的推論中に図そのものを内的に対象として用いていることを検証するためにこの考えを利用する．

前節で述べたように，三項関係問題を用いた Demarais らの研究では EOG によって視線の動きを分析していた．そのため，被験者が問題解決中に視覚心像の空間性を利用しているであろうことが示されたが，被験者がどのように視覚心像を問題解決に用いていたかという具体的な点が明らかではない．本研究では推論者の視線を記録する手段として角膜反射法を用いた視線追尾装置を用いることで，問題解決中の推論者のより具体的な視線の動きを分析する．この章では推論者の視線が図を伴った問題解決に際し具体的にどのように動くと考えられるか説明する．また，その視線の動きがなぜ図の視覚心像を反映しているといえるのかを検証する手立てを説明する．

3.1. 現実空間と図的空間の違い

これまで述べてきたように，図と，図が表している対象とは形状や空間性が何らかの意味で共通している．したがって，たとえ視線の動きが視覚心像を反映しているとしても，その動きが図そのものの視覚心像にもとづくものなのか，図が表わす対象の視覚心像にもとづくものなのか，それともさらに別種の表象によるものなのかは判然としない．この問題を解決するために，本研究ではある問題に対して構造は同じだがそれぞれ意味規則が正反対の２種類の図を個別に与える．もしもその図の視覚心像を用いて推論しているとすれば，推論者の視線は，それぞれの図の意味規則に則した動きをするだろう．もし問題解決に際して内的に図とは別の表象を用いているとすれば，視線は図の意味規則どおりに動くとは限らない．

本研究では三項関係問題を推論問題として用いる．具体的には以下のような３つの命題からなる三項関係問題に対して，図 3.1 と図 3.2 のような２種類の図を別々に提示する．

前提１：犬は猫よりも上にいます．
前提２：猫は豚よりも上にいます．
質問：犬は豚よりも上にいますか？

図 3.1　三項関係問題に対して与えられる図：犬が猫よりも上

図 3.2　三項関係問題に対して与えられる図：猫が犬よりも上

今，図 3.1 は前提１を表わしていて垂直平面に提示されており，推論者も直立しているとする．このとき図 3.1 上の犬と猫の関係は推論者がいる現実の空間と同一である．それゆえに推論者は図の対象を現実の空間での位置関係にもとづいて想像することができる．他方，図 3.2 は図 3.1 と比べて犬と猫の関係は反対である．つまり，犬は現実の空間とは逆に猫よりも下に位置しており，推論者の現実空間とは

正反対である．したがって，問題解決中の推論者の視線の動きがに図 3.2 に則したものであれば，推論者は図固有の意味規則を用いているといえるだろう．

Knauff らが述べているように，三項関係問題においては，問題中の対象間の関係（例えば，きれい・きたない）によっては，推論者が対象の空間的な推移性を用いることなく対象の表層的な“見え”を用いて推論をしている可能性も考えられる．この場合，たとえ図 3.1 と図 3.2 が問題に関して互いに正反対の意味規則を与えられていて，推論者の視線が図上を走査していても，図の意味規則を使っているという保証はない．しかし，５章で説明する実験で用いる図には前提２で登場する第３番目の対象が含まれていない．もし，推論者が対象の表層的な“見え”によるのではなく図の意味規則，つまり図の要素の位置関係に対応する規則によって推論するのであれば，図の意味規則に則り第３番目の対象が仮定される位置を注視する視線の動きがあると考えられる．

3.2. 予想される図上の視線の動き

前節では三項関係問題に対して構造は同じだが正反対の意味規則をもつ図を与えることで，その三項関係問題を解く間の視線の動きから，推論者が図の視覚心像を用いて推論をおこなっていると考えられる証拠を帰納的に導く方法を述べた. では，具体的にどのような推論者の視線の動きが予想できるのか.

先の問題を再び引き合いに出すことにする．

前提１：犬は猫よりも上にいます.
前提２：豚は犬よりも上にいます.
質問：猫は豚よりも上にいますか？

まず，本研究ではこれらの命題を音声によって推論者に提示する．というのも，これらの命題を文字として提示した場合，推論者の視線は文字列と図を見比べることになるだろう．このことは純粋に図に則した視線の動きの抽出を妨げてしまう恐

れがある．また，問題を解くために文字の配列の空間性を使い，問題に対して与えられた図を推論者が用いない可能性も考えられるからである．

次に各命題は Demarais らの実験のように一定の時間差をおいて提示されるのではなく，推論者の任意によって進められるようにする．このことで，視線の動きと思考の段階をある程度対応させることができると考えられる．

さて，推論者に図 3.3 の左図が提示され，前提１が音声で提示されたとする．この図は図平面上の下の要素よりも上の要素が「上」にあるという規則を持っている．推論者は前提１にしたがって左図がどのような規則によっているのかということを確認するだろう．そのために図中の 犬と猫の二つの要素を交互に見比べ，各々の要素の位置関係を把握すると考えられる．さらに前提２が提示されたとする．前提２には，図には表わされていない「豚」という対象が登場する．ここで，推論者が図の意味規則を利用しているのならば, 図上で「豚」が仮定される位置, すなはち犬の上方に視線を向けると考えられるだろう（ 図 3.3 左図参照 ）. 最後に質問が提示された場合はどうか．質問は「犬は豚よりも上にいますか？」だから推論者は図上で犬の要素が「豚」の位置よりも実際に上にあるか否かを確かめるために, 再度「豚」が仮定される位置を注視し，仮定される「豚」が図上の犬よりも上方にあることを確認した後,「否」という答えを導くと考えられる. 以上のことから推論者はあらかじめ与えられた図に表現されていない対象が登場する前提２と質問文が提示される度に，その対象が図の意味規則に沿った空間配置上で仮定される位置に視線を動かすと予想できる．

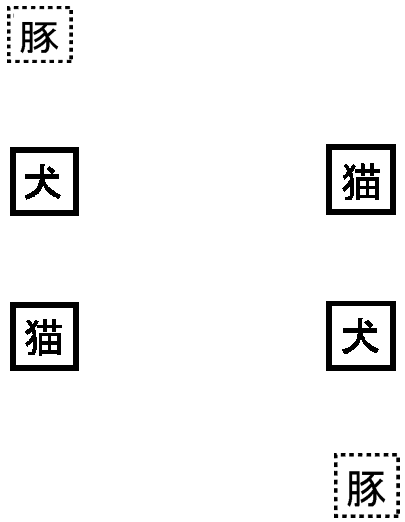


図 3.3　視線が予想される位置：豚が図の上に予想される場合（左図）：豚が図の下に予想される場合（右図）

しかし，先述のとおり一つの図についての視線の動きだけからでは，推論者が実際に図の位置関係を用いて推論しているとは言いきれない．なぜなら仮定された位置を推論者が注視したとしても実際には図の空間配置を用いているのではなく現実の空間を用いている可能性や，仮定された位置で，仮定された対象の表層的な“見え”の表象と図で表わされている対象を比較している可能性も考えられるからである．それゆえに左図とは反対の意味規則をもった図（図 3.3, 右図）を与えた場合の視線の動きも検討しなければならい．

では問題に対して図 3.3 の右図が与えられた場合に，推論者の視線はどのように動くと予想できるだろうか．右図は図平面で下にある要素が上にある要素よりも「上」という規則を持っている．したがって推論者が図の規則を用いているのならば，左図の場合とは逆に，「豚」は犬の下の位置に仮定される．このことから推論者は答えを求めるに際して前提 2 と質問が提示されるたびに，「豚」が仮定される図の下方を注視すると考えられる．もしこのような視線の動きが観察されたならば，推論者が現実の空間をもとに推論をおこなっているという可能性は否定される．なぜならばたとえ左図が現実の空間と同じ規則を持っていたとしても，右図はそれとは正反対の規則を持っており，そこで図で表現されていない対象が予想される場所が注視されるということは推論者が現実の空間を用いないで図に固有の空間的推移性をもとに推論していることを支持するからである．同様の理由により，推論者が対象の表層的な“見え”の表象を用いて推論をしているという可能性もとりのぞかれるだろう．

仮に予想どおり，推論者が図の規則にそって図が描かれていない部分を注視したとする．このとき，視線の動きが推論者の内部表象を反映していると考えるならば，推論者の内部表現は与えられた図そのものの表象の延長上に足りない図の要素を加えたものになっていると考えられよう．つまり図そのものの表象を推論者は利用していると考えられる．

4章 視覚心像の空間性に関する調査

2.2.1.で述べたとおり，視覚心像が推論に及ぼす効果についてのこれまでの研究において一貫しない結果の原因を Knauff ら [10] はその視覚的性質と空間的性質の混同によるものと考え,「犬は猫よりも大きいです」のような対象間に何らかの関係を含む記述を視覚化, 空間化の 2 つの観点から尺度評定を行った. その結果, 様々な関係を示す語の対（ 例えば，きれい・きたない，速い・遅い，など ）を３つの種類に分類している． ３つの分類とは,

① 空間－視覚関係：視覚化，空間化，両者の評定が高い
② 視覚関係：視覚化のみの評定が高い
③ 抑制関係：視覚化，空間化，いずれの評定も低い

本研究でも推論問題として三項関係問題を用いるために，問題に用いる関係語（ 関係を示す語 ）がどのような性質を持っているのかを調べる必要がある．そのために質問用紙によって，関係語を含んだ記述についての尺度評定調査をおこなった.

4.1. 目的

この質問紙による調査の目的は，５章で説明する実験で用いる三項関係問題のなかで，どのような関係語を用いることが適当なのかを調べることである．本研究の仮説は，空間化が難しくても易しくても推論者が図の空間的推移を用いて推論を行うことを前提としている．したがって実験で用いる三項関係問題に含まれる関係語はある程度空間化が容易なものから困難なものまでを含む必要がある．また，空間化が困難な関係語から易しい関係語までを三項関係問題に含めて問題に幅をもたせることで，後に推論者の視線の動きと問題の空間化の難易度との相関を調べられる

と考えた.

4.2. 方法

調査は評定者に質問用紙を配布し，その質問用紙に書き込みを依頼する方法をとった.

4.2.1. 評定者

評定は本学大学院生 9 名に依頼した．そのうち女性３名，男性６名で，年齢は 23 歳から 34 歳までである．評定者のうち１名はすべての記述に対して同一の評定だったため，統計からは除外した.

4.2.2. 素材

「スプーンがお皿の上にあります.」

この記述が示す状況を想像してください．このとき，材質，色，形など，スプーンやお皿という対象個々の状態を思い描くことを『視覚化』と定義します．また，スプーンとお皿にはお皿の上にスプーンが位置しているという空間配置がありますが，この対象間の空間配置を思い描くことを『空間化』と定義します．以下では１２の記述についてそれぞれ『視覚化』『空間化』の２つの観点からその難易度を評定してください.

質問用紙の冒頭には以上の説明文を付けた．評定者にはこの説明文に沿って以下のような記述を視覚化, 空間化の２つの観点から７段階の評定をするよう依頼した. 評定に際しては図 4.1 のような目盛りに〇印をつけてもらう方法をとった.

・犬は猫よりも強いです.

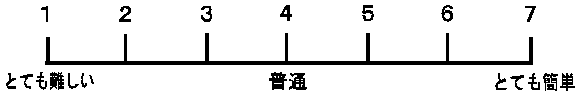


図 4.1　評定の目盛り

記述に含まれる関係語は２４語で，合計１２対の関係が用いられた．記述に含まれる「犬」,「猫」などの対象は，それらの語から想起される一般的概念が評定になるべく影響しないように，評定者毎に入れ替えてあり，全体としては平均されるようにした．また記述に含まれる関係語の順番も評定者ごとに異なるよう配慮した.

4.3. 結果

表 1　視覚化・空間化の難易評定

視覚化												
	上・下	前・後	東・西	大・小	清・汚	明・暗	良・悪	暖・冷	強・弱	速・遅	硬・柔	重・軽
N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
メディアン	5	5	4	5.5	5	3	4	4	4.5	4.5	4	4.5
レンジ（50%)	4-6	5-6	4-6	5-7	5-6	2-3	2-4	3-5	3-5	4-5	3-4	4-6

空間化												
	上・下	前・後	東・西	大・小	清・汚	明・暗	良・悪	暖・冷	強・弱	速・遅	硬・柔	重・軽
N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
メディアン	7	7	5.5	4	4	2	2.5	3	3.5	3.5	2	4
レンジ（50%)	6-7	6-7	5-6	3-7	3-4	2-3	1-4	2-4	3-5	3-5	1-4	2-5

結果は表１に示したとおりである．上の表は「上・下」など 12 ある関係の対について視覚化の観点から８人の評定者が評定した値のメディアンとレンジ[4]を求め

[4] Knauff らは便宜上, 評定尺度の調査で得られた得点を間隔尺度とみなして扱って

たもので，下の表は同様に空間化の観点からなされた評定のメディアンとレンジを求めたものである．表中のレンジ幅は 50%とした．また，評定は関係語ごとにおこなったが，集計は意味的に表裏の関係にある関係語ごとに関係対としてまとめて扱ったために，評定者は全ての関係対に対して８人だが，データ数は１６個となる．

視覚化の観点による評定では各関係対のメディアンが最高5.5から最低3であり，レンジ幅も１～２内にとどまっている．空間化の観点による評定ではメディアンが最高 7 から最低 2 までであり，視覚化の場合と比較した場合幅が大きい．また各々の関係対のレンジ幅も１～４とばらつきがあり，これも視覚化の場合と比較して幅が大きい．

4.4. 考察

Knauff らの報告と同様に，上・下，前・後といった空間的関係を含む記述に対しての評定は概して高かった．明るい・暗い，良い・悪い，硬い・柔らかい，暖かい・冷たい，の関係対は視覚化，空間化いずれにおいても評定が低く，これらの関係を含んだ言葉が示す状況を思い描くことが困難であることを示唆している．また，全体的に見て視覚化の評定よりも空間化のメディアンの最高値と最低値の幅は大きく，空間化の評定ではメディアンが小さくなるほどレンジ幅も大きくなる傾向が伺える．したがって，視覚化よりも空間化の方が難易の差が大きいことがわかる．また，空間化の評定が低い関係語による記述が示す光景を想起することは個人によって得手，不得手の差が大きいと思われる．このことから推論者が三項関係問題を解くうえで空間的遷移性を用いるとするならば，全般的に空間化がし易いか否かが三項関係問題を解くうえでの効果にかかわってくるだろうことが予想される．

いるが，本研究では得られた得点を順位尺度として扱った．

5章 図的推論における視線追尾実験

この章では３章で述べた考え方にもとづき，音声による三項関係問題の提示とともにその内容を部分的に表現した図を被験者に与え，問題解決中の被験者の視線が図上を走査する様子を収録した実験の方法，視線データの処理について説明する．さらに結果を報告した後，考察をおこなう．

5.1. 目的

この実験の目的は，３章で述べた図上での推論者の視線の動きについての仮説を検証することである．換言すれば，問題解決中に被験者が内的に図の視覚的表象を使っていることの証拠を問題解決中の被験者の視線の動きに見出すことである．そのために被験者の図上での視線の動きを角膜反射方式による視線追尾装置を用いて収録し，図上での視線の動きのデータを得ることを目的とする．

5.2. 方法

5.2.1. 被験者

実験では本学の学生 10 人分（ 女２名，男８名，年齢２３～２７歳 ．以下 S1, S2 ... S９，S10 とする.）の視線の動きを収録した．このうち S５については視線追尾装置のキャリブレーション[5]が成功しなかったために視線分析の対象者からは除いた．したがって，以下で示す視線データは被験者 9 人分のものである．

[5] 視線追尾装置と被験者の眼の動きを同調させる作業. 被験者は実験者が指し示すポイントに視線を合わせそこで装置のボタンを押す作業を合計 9 回おこなう.

5.2.2. 実験素材

三項関係問題

被験者に提示する問題として，三項関係問題を用いた．三項関係問題は１題が前提 1，前提 2，質問の三つの文から成る．以下に示すものが三項関係問題の１題である．

前提 1：犬は猫よりも前にいます．
前提 2：猫は豚よりも後ろにいます．
質問：犬は豚よりも前にいますか？

それぞれの文は犬や猫などの“ 対象 ”の“ 関係 ”について述べており，被験者は三つの対象の関係を問われることになる．

三項関係問題の文中で用いる“ 関係 ”には，４章で説明した尺度評定済みの関係対の中から，６対の関係（ 前・後，東・西，大・小，きれい・きたない，軽・重，明・暗 ）を用いた．また文に含まれる三つの“ 対象 ”には（ 犬，猫，豚，鳥 ）の群と（ 馬，鹿，牛，熊 ）の群を用いた[6]．

---

[6] 問題にこれらの関係と対象を用いた理由は，第一に，対象と関係を組み合わせてできる三項関係問題の文は音声によって被験者に提示されるために，日本語としてなるべく不自然に聞こえないように音節数をなるべくそろえ，語呂をよくする必要があった．第二に，日本語として意味的に不自然でないようにする．第三に，空間化の評定が高い関係から低い関係までを含める．以上の点を考慮したことによる．

問題生成

三項関係問題の前提１は「X は Y より R です」（ X，Y は犬，猫などの対象，R は関係を表す ）と抽象できる．この前提 1 に連なる前提 2 と質問文には以下の８種類の問題型（ a ~ h ）を用意した（ Z は対象，ただし図では表されない．反 R は R と反対の意味の関係を表す語 ）.

a ）　前提２：Z は X よりも R です.　　質問：Y は Z よりも R ですか？
b ）　前提２：Z は Y よりも反 R です.　質問：X は Z よりも R ですか？
c ）　前提２：Z は X よりも R です.　　質問：Y は Z よりも反 R ですか？
d ）　前提２：Z は Y よりも反 R です.　質問：X は Z よりも反 R ですか？
e ）　前提２：X は Z よりも反 R です.　質問：Y は Z よりも反 R ですか？
f ）　前提２：Y は Z よりも R です.　　質問：X は Z よりも反 R ですか？
g ）　前提２：X は Z よりも反 R です.　質問：Y は Z よりも R ですか？
h ）　前提２：Y は Z よりも R です.　　質問：X は Z よりも R ですか？

これらの問題のうち，X, Y, Z, の位置には対象の群（ 犬，猫，豚，鳥 ）や（ 馬，鹿，牛，熊 ）を循環的に入れ替えて用い，全体として偏りのないように配慮した．したがって最終的に被験者一人あたりについて６関係（前・後，東・西，大・小，きれい・きたない，軽・重，明・暗）×８問題型（ a ~ h ）＝４８題の三項関係問題.を生成した. このように生成された文は OKI 電機の Smart Talk というソフトウェアによって音声化された.

図

この実験では合成音声によって提示される三項関係問題.とともに，三項関係問題.の前提 1 を表現した図を被験者に対して提示する．例えば，前提 1 が「犬は猫よりも前にいます」という音声だとする．実験ではこの前提 1 を表現した図（ 図 5.1 参照 ）が前提１の音声とともに被験者に示される.

犬

猫

図 5.1 前提１を表現した図：図の上が前で図の下が後ろという規則がある

ここでいう“図”とは四角形の枠の中に犬，猫などの漢字一文字を記したものを二つ縦軸，または横軸方向に並べたものである．図中の二つの四角形の枠の内の漢字は三項関係問題.の前提１のなかの“対象”，X と Y に対応している．実験では３章で説明したとおり, 図が縦軸方向のときも横軸方向のときでも X と Y が正反対の位置にある図も同様に用いられる．したがって以下の四種類の図のなかのいずれかが各々の問題とともに被験者に対して示される.

① X が Y の上部に位置しているもの（ 図 5.2 ）.
② X が Y の下部に位置しているのもの（ 図 5.3 ）.
③ X が Y の左に位置しているもの（ 図 5.4 ）.
④ X が Y の右に位置しているもの（ 図 5.5 ）.

X

Y

図 5.2 縦軸図：対象 X が対象 Y よりも上

Y

X

図 5.3 縦軸図：対象 Y が対象 X よりも上

図 5.4　横軸図：X が Y の左にある

図 5.5　横軸図：X が Y の右にある

5.2.3. 予想される視線の動き－仮説－

８種類の問題型 （ a ～ h ） の各々においては，図として示される対象 X と対象 Y の位置関係は固定している．

・問題型 **a** ） と **b** ） に対しては，対象 X が対象 Y の上に位置している図（ 図 5.2 ）が与えられる．
・問題型 **g** ）と **h** ）に対しては対象 X が対象 Y の下に位置している図（ 図 5.3 ）が与えられる．
・問題型 **c** ） と **d** ） に対しては，対象 X が対象 Y の左に位置している図（ 図 5.4 ）が与えられる．
・問題型 **e** ） と **f** ） に対しては対象 X が対象 Y の右に位置している図（ 図 5.3 ）が与えられる．

すなはち，問題型 a ，b ，g ，h ，は縦軸の図とともに，問題型 c ，d ，e ，f ，は横軸の図とともに被験者に対して示される．このことから各々の問題型において，被験者の視線が走査すると考えられる場所が予想できる．

例えば，以下のような問題型 a の三項関係問題の場合について考えてみる．

前提１：犬は，猫よりも，前にいます．
前提 2：豚は，犬よりも，前にいます．
質問：猫は，豚よりも，前にいますか？

図 5.6　対象 X（犬），対象 Y（猫），：対象 Z（豚）はどこに予想されるか？

このとき, この問題と同時に被験者に示される図は対象 X である犬が対象 Y である猫よりも上部に位置している図（ 図 5.6 ）である．つまりこの図では上方向が“ 前 ”下方向が“ 後ろ ”という規則がある．前提 2 から対象 Z である豚は対象 X である犬よりも前にいるから, この図の規則に沿うならば Z である豚は X である犬の上に位置しているはずである. 質問では対象 Y である猫と対象 Z である豚の関係を問うているので, 図の規則を用いるならば被験者は Z が仮定される場所である X の上方の場所を見る, つまり X の上側に視線の停留があると考えられる. 同様に a から h までの問題型は図の規則に沿って対象 Z が仮定される場所が決まっており, それは以下に示すとおりである．

・問題型 a ）　では X の上に Z が仮定される．
・問題型 b ）　では Y の下に Z が仮定される．
・問題型 g ）　では X の下に Z が仮定される．
・問題型 h ）　では Y の上に Z が仮定される．
・問題型 c ）　では X の右に Z が仮定される．
・問題型 d ）　では Y の左に Z が仮定される．
・問題型 e ）　では X の左に Z が仮定される．

・問題型ｆ ） ではＹの右にＺが仮定される.

これらは，以下のようにまとめて考えることもできる.

・問題型ａ ）とｈ ）ではＺが図の上
・問題型ｂ ）とｇ ）ではＺが図の下
・問題型ｃ ）とｆ ）ではＺが図の右
・問題型ｄ ）とｅ ）ではＺが図の左

４章で述べも述べたように, われわれは三項関係問題とともに図を示したときに, 前提を空間的に思い描くことが困難な場合，つまり空間化の評定が低い関係を含む問題においても図の規則に従った被験者の視線の動きが見られると予想する. もし, 被験者が図の意味規則を用いないで問題を解いているのならば，図の上方と下方の視線停留時間や停留回数には差が無いと考えられる.

5.2.4. 実験機材と環境

被験者の視線の動きを採録するためにナックイメージテクノロジー社の角膜反射法による視線追尾装置である EMR－８ model ST－560 を用いた. 視線データのサンプリングレートは 30F/S である.

図と音声の提示はコンピュータ上で動作するタキストスコープのソフトウェアである Cedrus 社の Super Lab. を用いた.

実験中，被験者は帽子型の視線追尾装置を頭にかぶり，問題の図が提示される 90 インチスクリーンから 3m 離れた位置に着席する．被験者はキャリブレーション中, および問題回答中は頭部を固定装置によって固定される．被験者の問題に対する反応はキーボードを通してコンピュータに記録された.

5.2.5. 実験デザインと手順

実験は練習問題６題, 図が縦軸に示される第１ブロック（６関係×問題型 a, b, g,

h，＝２４題，　問題が示される順番はランダム ）図が横軸に示される第２ブロック（６関係×問題型 c，d，e，f，＝２４題，　問題が示される順番はランダム ）から成る．各問題は待機画面→図の提示→前提１→前提２→質問→待機画面という順番で構成されており，各段階は被験者がキーボードのスペースキーを任意で押すことにより次の段階に移る．ただし，図は一度提示されると次の待機画面に切り替わるまで提示されつづける．前提１，前提２，質問は音声で提示されるが，被験者は質問に対して「はい」と思えばテンキーの「４」を，「いいえ」と思えばテンキーの「６」を押して答えることで一つの問題が終わる．被験者は待機画面が表示されている場合には休憩してもいいが，スペースキーを押して問題が始まってから答え終わり次の待機画面へ移るまではなるべく速く正確におこなうことを実験者から教示される．

被験者は練習問題を解いた後，視線追尾装置を頭部に装着して，装置ごと頭部を固定される．そののち眼球の動きと装置を同調させるキャリブレーションという作業を実験者の指示のもとおこなう．キャリブレーションが成功すると，被験者は第１ブロックをおこなう．第１ブロックが終了すると適宜休憩とキャリブレーションをはさんで第２ブロックをおこなう．

第１ブロック，第２ブロックともおおよそ５分から 10 分で終了し，実験全体としては被験者一人につき 40 分から１時間で終了した．

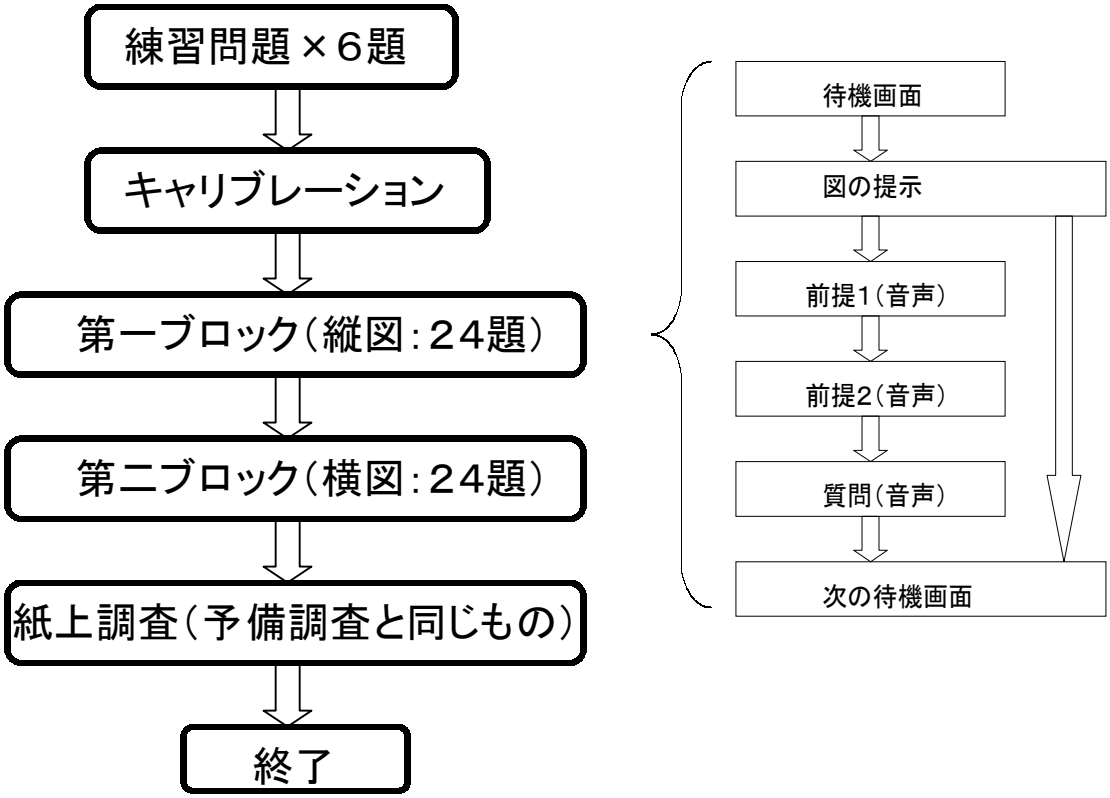


図 5.7　実験の流れ

5.2.6. 視線データの分類

本研究ではデータ解析の煩雑さを避けるために，右目の視線のみを分析の対象とした．対象とするデータはキャリブレーションが成功しなかった被験者一人を除いた９人分の視線データである．収録した視線データのうち，分析する部分は前提１が音声で提示されてから画面が次の待機画面に変わるまでの区間，つまり問題が始まってから答え終わるまでである．場所別停留時間分析や場所別停留回数分析など定量的なデータは視線追尾装置付属の解析ソフトウェアによって数値化されたものを用いた．

解析にあたっては，場所別停留時間分析，場所別停留回数分析を各問題解決中の視線データについておこなう．第１ブロック，つまり図が縦軸に示された場合の解

析の範囲は，左右視野角－22 度～22 度，上下－16.5 度～16.5 度[7]の視野軌跡平面を 32×32 のマス目[8]に分割して，各視野ポイントでの停留時間，停留回数を求めた．これにより縦軸に関しては計算上ほぼ 1 度の精度での分析ができる．同様に第 2 ブロック，つまり図が横軸に提示された場合は視野平面を 40×40 のマス目に分割することで横軸に関しては約 1.1 度の精度で分析した．視線停留データ[9]のカウント最小時間は読みにおける停留時間を参考に（ 斎田, [12] ）100ms に設定した．

図が縦軸方向に提示された問題については，停留時間と停留回数の最も値が大きい値があるマス目とその周りを囲むマス目 1 マス分，つまり 3×3 のマス目を二つある図の要素 X，Y，のいずれかと仮定し[10]．その 3×3 の範囲に含まれる停留データを合計してカウントした．同様にこのマス目を基準にして縦軸方向のみを 3×3 のマス目を一つの範囲として区分けしてゆき，視野軌跡平面の上からそれぞれ 3×3 のマス目を P，Q，R，S，T，U，V，の領域に分け（ 図 5.8 参照 ）それらのマス目に含まれる停留データを合計する．このとき，図の要素 X，Y，に対応するのは R と T または T と R の領域である．図が横軸方向に提示された問題についてもまず 5×3 のマス目を図の要素 X または Y と整合させた上で図が縦の場合と同様の手法でデータを整理していった（ 図 5.9 参照 ）．

7　90 インチのスクリーン全体がこの視野角の中に完全に入る．

8　解析ソフトの機能的制約上，縦，横，同数の分割数でしか分割できない．したがって，図が縦のときも横のときも視野角約 1 度の精度で分析できるように分割した．

9　視線追尾データの分析には主に場所別停留時間分析と場所別停留回数分析を用いた．場所別時間停留分析とは小領域に分割した視野平面内での停留累積時間表示．場所別停留回数分析とは小領域に分割した視野平面内での停留回数の表示のこと．

10　一般に刺激の中で情報価の高い部分に注視点が集まる （ 行場, [9] ）ことに拠っている．ただし，この方法を用いて図の要素の範囲を決めた場合，停留データの範囲が明らかに図の範囲と離れている場合があった．そのような場合は，停留データごとに画像データと比較することで整合をはかった．しかし最終的には Epelboim ら [4] のいうように主観的判断が入らざるをえない．

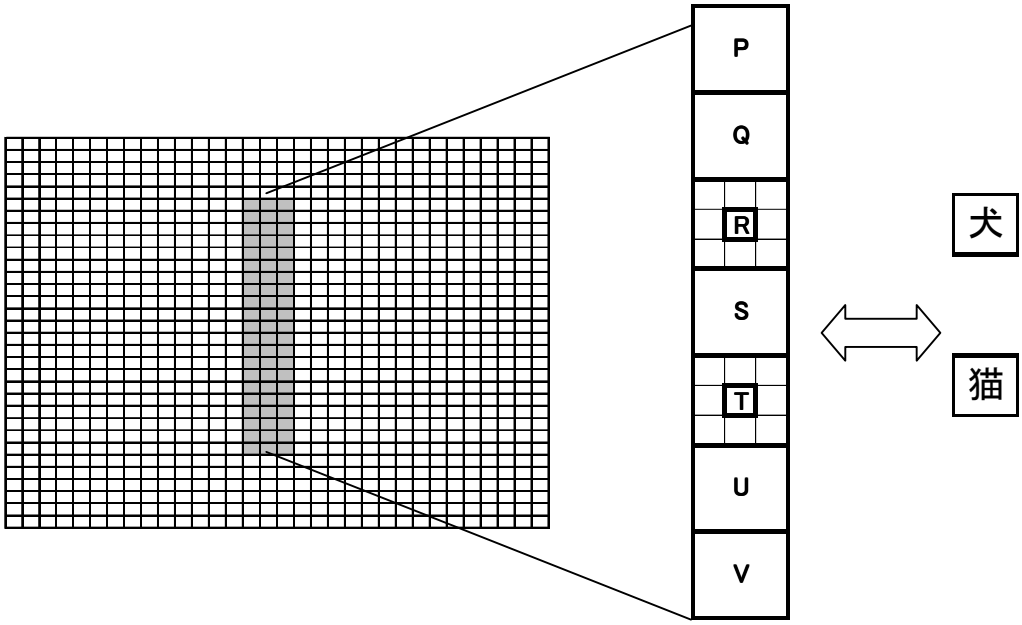


図 5.8　視線データの分類に用いる領域：縦軸図

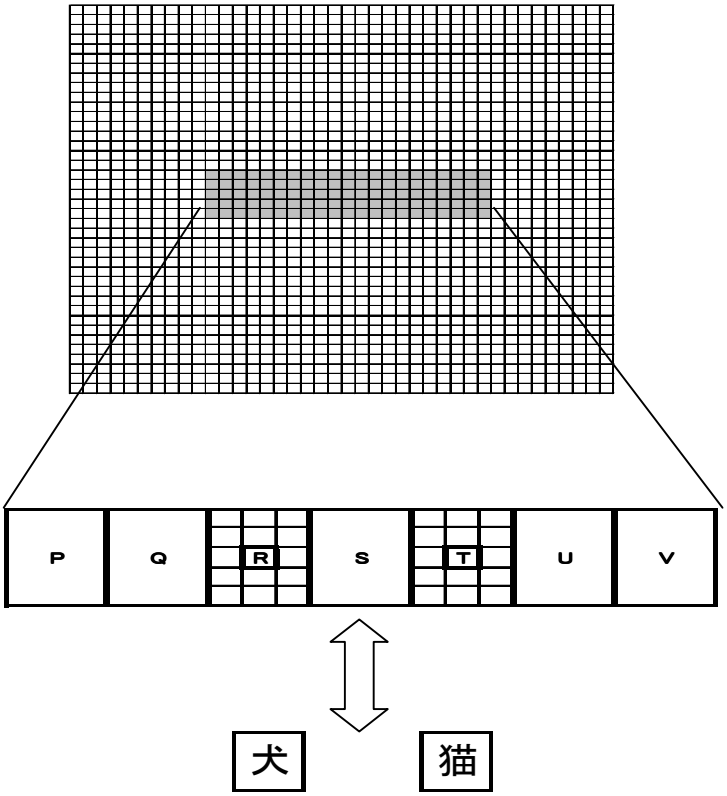


図 5.9　視線データの分類に用いる領域：横軸図

5.3. 結果

5.3.1. 定量的結果－場所別停留時間分析

表 2　被験者別の場所別停留時間の平均（ミリ秒）

	図が縦方向			図が横方向		
被験者1		ah	bg		cf	de
	P上	0.056	0.009	P左	0.000	0.000
	Q上	0.673	0.079	Q左	0.000	0.027
	R図	1.857	1.464	R図	1.529	1.823
	S中	1.361	1.699	S中	0.653	0.481
	T図	0.372	1.336	T図	1.318	0.994
	U下	0.131	0.442	U右	0.045	0.000
	V下	0.021	0.055	V右	0.000	0.000
	そのた	0.446	0.183	そのた	1.562	1.638
	計	4.916	5.267	計	5.107	4.963
被験者2		ah	bg		cf	de
	P上	0.000	0.000	P左	0.000	0.000
	Q上	0.038	0.026	Q左	0.351	0.385
	R図	0.392	0.085	R図	1.801	2.089
	S中	1.750	0.358	S中	0.458	0.437
	T図	0.937	2.053	T図	1.871	1.320
	U下	0.093	0.320	U右	0.067	0.148
	V下	0.000	0.027	V右	0.000	0.000
	そのた	1.883	2.177	そのた	0.785	0.894
	計	5.093	5.045	計	5.334	5.274
被験者3		ah	bg		cf	de
	P上	0.370	0.043	P左	0.000	0.315
	Q上	0.418	0.037	Q左	0.080	0.267
	R図	3.252	2.203	R図	3.419	3.873
	S中	0.285	0.237	S中	0.173	0.142
	T図	4.135	4.990	T図	4.108	2.718
	U下	0.182	0.800	U右	0.049	0.161
	V下	0.000	0.163	V右	0.507	0.048
	そのた	0.249	0.072	そのた	0.085	0.600
	計	8.890	8.545	計	8.421	8.124
被験者4		ah	bg		cf	de
	P上	0.000	0.000	P左	0.000	0.000
	Q上	0.030	0.227	Q左	0.000	0.064
	R図	5.418	8.527	R図	3.494	4.830
	S中	0.356	0.540	S中	0.618	1.049
	T図	0.348	0.593	T図	3.755	2.950
	U下	0.000	0.000	U右	0.085	0.000
	V下	0.000	0.000	V右	0.000	0.000
	そのた	0.000	0.023	そのた	0.261	0.118
	計	6.151	9.910	計	8.212	9.010
被験者6		ah	bg		cf	de
	P上	0.000	0.000	P左	0.000	0.024
	Q上	0.117	0.026	Q左	0.018	0.088
	R図	2.195	1.819	R図	1.591	2.368
	S中	0.902	1.211	S中	0.024	0.076
	T図	1.060	1.300	T図	1.336	0.950
	U下	0.197	0.048	U右	0.000	0.000
	V下	0.000	0.000	V右	0.000	0.000
	そのた	0.010	0.096	そのた	0.967	0.995
	計	4.480	4.500	計	3.937	4.502

	図が縦方向			図が横方向		
被験者7		ah	bg		cf	de
	P上	0.400	0.000	P左	0.000	0.273
	Q上	0.379	0.000	Q左	0.000	0.027
	R図	3.421	4.448	R図	3.364	2.987
	S中	0.187	0.347	S中	0.097	0.073
	T図	1.555	2.357	T図	4.317	2.147
	U下	0.000	0.157	U右	0.079	0.000
	V下	0.000	0.362	V右	0.524	0.000
	そのた	0.483	0.276	そのた	0.267	0.000
	計	6.425	7.947	計	8.647	5.507
被験者8		ah	bg		cf	de
	P上	0.013	0.000	P左	0.000	0.070
	Q上	0.270	0.000	Q左	0.000	0.211
	R図	2.205	1.297	R図	1.395	2.276
	S中	1.350	1.507	S中	0.586	0.894
	T図	1.208	1.873	T図	2.377	2.119
	U下	0.023	0.396	U右	0.512	0.218
	V下	0.027	0.036	V右	0.197	0.000
	そのた	0.113	0.339	そのた	0.270	0.239
	計	5.210	5.449	計	5.338	6.028
被験者9		ah	bg		cf	de
	P上	0.053	0.000	P左	0.000	0.000
	Q上	0.757	0.361	Q左	0.000	0.000
	R図	4.097	3.111	R図	1.144	2.612
	S中	2.817	2.805	S中	1.500	1.533
	T図	1.763	2.268	T図	3.955	4.076
	U下	0.010	0.122	U右	0.000	0.000
	V下	0.000	0.101	V右	0.000	0.000
	そのた	0.182	0.264	そのた	1.295	2.007
	計	9.679	9.033	計	7.893	10.228
被験者10		ah	bg		cf	de
	P上	0.000	0.000	P左	0.000	0.000
	Q上	0.000	0.100	Q左	0.257	0.117
	R図	4.240	4.306	R図	1.294	2.025
	S中	0.673	0.833	S中	0.373	0.672
	T図	0.079	1.033	T図	3.924	2.622
	U下	0.000	0.027	U右	0.330	0.131
	V下	0.000	0.000	V右	0.000	0.000
	そのた	0.000	0.021	そのた	0.700	0.736
	計	4.991	6.321	計	6.878	6.303

表 2 は前項で説明した分析領域のどの部分に視線が平均してどれぐらいの時間停留していたかを被験者ごとに示している．表の行は前節で述べた画面の領域を，列は問題型を表している（問題型は同じ領域に視線停留が予想されるものごとにまとめて集計してある）．5.2.3 で述べたとおり，図が縦軸の場合，問題型 a と h では図の上方の領域 P と Q に図の下方である領域 U と V よりも多くの停留があると考え

られる．逆に問題型 b と g では図の下方，つまり領域 U と V における停留は図の上方の領域 P と Q よりも多いと予想される．図が横軸の場合でも同様に考えられる．問題型 c と f では図の右側の領域 U と V に図の左側の領域 P と Q よりも多くの停留があるだろう．反対に問題型 d と e では図の右の領域 U と V よりも図の左側の領域 P と Q に多くの停留が予想される．この仮説を検証するために，問題一試行について領域 PQ における視線停留時間と領域 UV における視線停留時間を対応のあるデータと考え，その差の有無を調べた．データは一つの問題において各領域に含まれる視線停留時間の合計値である．

図が縦軸の場合

表 3　問題型 a と h における視線停留時間の平均（ミリ秒）

	図の上の領域(PQ)	図の下の領域(UV)
平均値	0.194	0.039
標準偏差	0.466	0.166
最大値	3.27	1.1
最小値	0	0

表 4　問題型 b と g における視線停留時間の平均（ミリ秒）

	図の上の領域(PQ)	図の下の領域(UV)
平均値	0.051	0.166
標準偏差	0.249	0.36
最大値	2.03	1.9
最小値	0	0

表 3 は問題型 a と h の問題における，図の上方の領域（P と Q）と図の下方の領域（U と V）に含まれる視線停留時間の平均および標準偏差である．表 4 は問題型 b と g の問題における，図の上方の領域と図の下方の領域に含まれる視線停留時間の平均および標準偏差である．各問題における領域 P と Q，U と V での停留時間の分散の大きさが均質とみなせなかったのでウィルコクソンの符号付順位検定をおこなった．その結果図の上の領域と図の下の領域における停留時間の差は問題型 a と h，（ 両側検定：Z =－4.351，p <0.01，N =184 ），問題型 b と g，（ 両側検定：Z =

－4..233，p <0.01，N =185 ）のいずれでも有意であった．したがって，図の上方に対象 Z が予想される問題（ 問題型 a と h ）では，被験者は図の下よりも図の上を多くみていると考えられる．また，図の下方に対象 Z が予想される問題（ 問題型 b と g ）では，被験者は図の上よりも図の下を多く見ていると考えられる．

図が横軸の場合

表 5　問題型 c と f における視線停留時間の平均（ミリ秒）

	図の左の領域(PQ)	図の右の領域(UV)
平均値	0.041	0.122
標準偏差	0.176	0.315
最大値	1.2	2.07
最小値	0	0

表 6　問題型 d と e における視線停留時間の平均（ミリ秒）

	図の左の領域(PQ)	図の右の領域(UV)
平均値	0.106	0.039
標準偏差	0.233	0.157
最大値	1.07	1
最小値	0	0

表 5 は問題型 c と f の問題における，表 6 は問題型 d と e の問題における図の左側の領域（P と Q）と図の右側の領域（U と V）に含まれる視線停留時間の平均および標準偏差である．各問題における領域 P と Q，U と V での停留時間の分散の大きさが均質とみなせなかったのでウィルコクソンの符号付順位検定をおこなった．その結果図の左側の領域と図の右側の領域における停留時間の差は問題型 c と f，（ 両側検定：Z =－3.254，p <0.05，N ＝181），問題型 d と e，（ 両側検定：Z = －3.256，p <0.05, N ＝182 ）のいずれでも有意であった．したがって，図の右側に対象 Z が予想される問題（ 問題型 c と f ）では，被験者は図の左よりも図の右側の領域を多くみていると考えられる．また，図の左側に対象 Z が予想される問題（ 問題型 d と e ）では，被験者は図の右よりも図の左側の領域を多くみていると考えられる．

以上の結果から，被験者は図を伴った三項関係問題において図の規則を使わず不規則に図を走査しているという帰無係説は棄却され，図における対象 Z があるべき場所と被験者の視線停留時間の大小には関連があるという考えが支持される．

5.3.2. 場所別停留回数分析

5.3.1.では視線停留データの時間的な結果から分析を試みた．その結果，被験者はランダムに図が表示されるスクリーン上を走査しているのではないことがわかった．ここでは，場所ごとの停留回数データから，各被験者が問題型別にどのような視線の動きをしていたかについての分析をおこなう．被験者が図の規則を用いて推論をおこなっているということは，図には表現されていない対象 Z の位置を見ているか否かということにかかっている．つまり，対象 Z が図の上方に位置していると考えられるならば, 被験者の視線は対象 X と対象 Y が表現されている図とその上方のみを走査して，図の下方は見ないだろう．反対に，対象 Z が図の下方に位置していると考えられるならば，被験者は図とその下方のみを見て図の上方は見ないだろう．同様のことが，図が横軸方向に示された場合についてもいえる．もし，視線が図の規則に拠らないでランダムに動いているのならば領域 PQ と UV における停留回数は同じぐらいのはずである. 分析を簡単にするため 5.2.6.で説明した P, Q, R, S，T，U，V，という七つの分析範囲を以下のようにまとめて考える．

＜図が縦軸の場合＞

・領域 PQ→上
・領域 RST→中
・領域 UV→下
（ 図 5.10 参照 ）

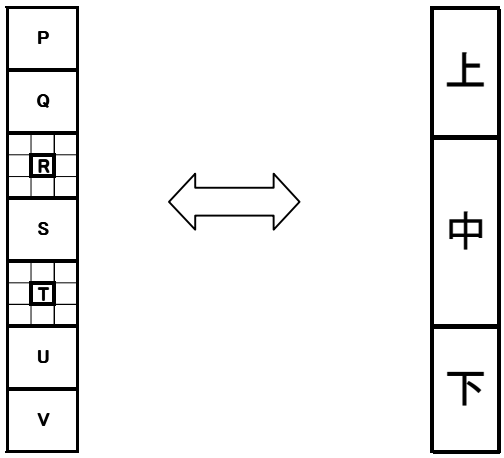


図 5.10　停留回数を調べる領域：図が縦軸

＜図が横軸の場合＞

・領域 PQ→左
・領域 RST→中
・領域 UV→右
（図 5.11 参照）

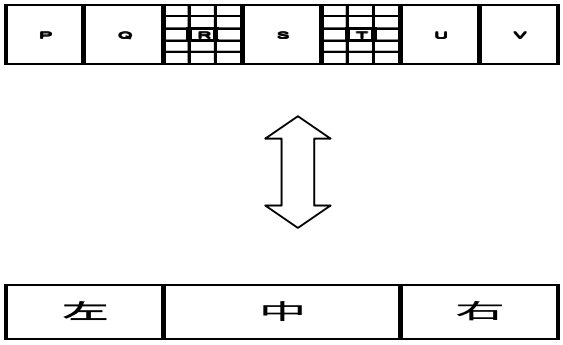


図 5.11　停留回数を調べる領域：図が横軸

この分類によって被験者の視線停留場所を分類することにより，一つの三項関係問題.を解いている間に被験者の視線が走査する領域は以下の四つのパターンのいずれかに全て分類することができる.

１．上・中：図とその上方を見ている.
２．下・中：図とその下方を見ている.
３．上・中・下：図とその上方，下方ともに見ている.
４．中：図のみを見ている.

図が縦軸で，対象 Z が図の上方にあると考えられる場合に，予想される視線停留領域は「上・中」である．対象 Z が図の下方にあると考えられる場合に，被験者に予想される視線停留領域は「下・中」である．したがって，三項関係問題の全試行を検討した場合，Z が図の上方にあると考えられる場合（ 問題型 a h ）と Z が図の下方にあると考えられる場合（ 問題型 b g ）では視線停留領域の比に差があると考えられる．同様に図が横軸に示された場合にも，対象 Z が図の左側にあると考えられる場合（ 問題型 d と e ）と Z が図の右側にあると考えられる場合（ 問題型 c と f ）では視線停留領域の比に差があると考えられる．帰無仮説を選択する

ならば全試行を通した被験者の視線停留領域の比に差は無いだろう.

表７は分析の対象とした全ての問題のうち，対象Ｚが図の上方に予想される問題型（ａとｈ）と対象Ｚが図の下方に予想される問題型（ｂとｇ）を視線走査パターンごとにこの四つのカテゴリーに分類したものである．同じく表８は図が横軸方向の問題を四つのカテゴリーに分類したものである．χ^2 検定の結果，対象Ｚが図の上方に予想される場合（問題型ａとｈ）と対象Ｚが図の下方に予想される場合（問題型ｂとｇ）の視線停留領域の比には有意な差があった（χ^2=35.59，p<0.001）．図が横軸方向の場合でも同様に対象Ｚが図の左に予想される場合と対象Ｚが図の右に予想される場合での視線停留領域の比に有意な差が見られた（χ^2=38.62，p<0.001）．

表 7　縦軸図の場合の視線走査パターン：括弧内は標準化残差

	視線停留領域				
	上・中	下・中	上・中・下	中	計
Zが上（ａｈ）	31(2.5)	5(−3.4)	8(0.6)	45(0.4)	89
Zが下（ｂｇ）	9(−2.5)	35(3.4)	5(−0.6)	40(−0.4)	89
計	40	40	13	85	178

表 8　横軸図の場合の視線走査パターン：括弧内は標準化残差

	視線停留領域				
	左・中	右・中	左・中・右	中	計
Zが左（ｄｅ）	28(2.1)	3(−3.6)	11(1.2)	52(0.4)	94
Zが右（ｃｆ）	9(−2.1)	33(3.7)	4(−1.2)	44(−0.4)	90
計	36	37	15	96	184

表 9　被験者ごとの視線走査パターン：縦軸図の場合

		視線停留領域				
被験者1		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	6	1	2	3	12
	Cが下（ｂｇ）		6	2	1	9
	計	6	7	4	4	21
被験者2		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	2	3		4	9
	Cが下（ｂｇ）		6	1	3	10
	計	2	9	1	7	19
被験者3		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	6		3	2	11
	Cが下（ｂｇ）		8	2		10
	計	6	8	5	2	21
被験者4		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	1			8	9
	Cが下（ｂｇ）	2			8	10
	計	3			16	19
被験者6		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	2		2	6	10
	Cが下（ｂｇ）	1	1		7	9
	計	3	1	2	13	19
被験者7		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	4			3	7
	Cが下（ｂｇ）		4		3	7
	計	4	4		6	14
被験者8		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	5		1	4	10
	Cが下（ｂｇ）		6		5	11
	計	5	6	1	9	21
被験者9		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）	5	1		4	10
	Cが下（ｂｇ）	5	3		4	12
	計	10	4		8	22
被験者10		上・中	下・中	上・中・下	中	計
	Cが上（ａｈ）				11	11
	Cが下（ｂｇ）	1	1		9	11
	計	1	1		20	22

表 10　被験者ごとの，視線走査パターン：横軸図の場合

		視線停留領域				
被験者1		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	2			8	10
	Cが右（ｃｆ）		2		9	11
	計	2	2		17	21
被験者2		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	4	1	2	2	9
	Cが右（ｃｆ）	6	3	1	1	11
	計	10	4	3	3	20
被験者3		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	5		7		12
	Cが右（ｃｆ）		7	1	2	10
	計	5	7	8	2	22
被験者4		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	2			9	11
	Cが右（ｃｆ）		2		9	11
	計	2	2		18	22
被験者6		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	4			7	11
	Cが右（ｃｆ）	1			10	11
	計	5			17	21
被験者7		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	6			5	11
	Cが右（ｃｆ）		9		2	11
	計	6	9		7	22
被験者8		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	3	1	2	4	10
	Cが右（ｃｆ）		9		1	10
	計	3	10	2	5	20
被験者9		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）				8	8
	Cが右（ｃｆ）				4	4
	計				12	12
被験者10		左・中	右・中	左・中・右	中	計
	Cが左（ｄｅ）	2	1		9	12
	Cが右（ｃｆ）	2	1	2	6	11
	計	4	2	2	15	23

以上では全体の傾向として，被験者が図の規則を用いて推論しているということを支持する結果が得られた．

では，各被験者の視線停留領域は同じような傾向を示しているのだろうか．表９と表 10 は被験者ごとに各問題型で見られた停留を領域別に分類したものである．図が縦軸の場合と横軸の場合について被験者ごとにフィッシャー直接法により検証した．その結果，図が縦軸の場合，被験者１（ 両側検定： p <0.05 ），被験者３（ 両側検定： p <0.01 ），被験者７（ 両側検定： p <0.05 ），被験者８（両側検定： p <0.01），の計４名で Z が図の上にあると考えられる場合（ 問題型 a h ）と Z が図の下にあると考えられる場合（ 問題型 b g ）における視線停留領域の数の比の差が有意であった．したがって，縦軸図が示された場合，これら４人の被験者は予想された場所を他の被験者よりも注視していたと考えられる．図が横軸の場合は被験者３（ 両側検定： p <0.01 ），被験者７（ 両側検定： p <0.01 ），被験者８（ 両側検定： p <0.01 ），の計３名で視線停留領域の数の比の差が有意であった．したがって，横軸図においてもこれら３人の被験者の視線停留は他の被験者と比較して予想された場所を注視していたと考えられる．このように図が横軸の場合に視線停留領域の差が有意である被験者は全て図が縦軸の場合でも視線パターンの差が有意である．このことから，特定の被験者がより多く，図の規則を推論に用いる傾向にあると考えられる．

5.3.3. その他の結果

下の表は，全ての被験者について予想された視線の動きをした問題数を，六つの関係ごとに分類したものである．その結果，最も予想どおりの視線の動きが見られたのは“ 前・後 ”関係であり，最も予想された視線の動きが少なかったのは“ 明・暗 ”関係だった．

表 11　どの関係を含む問題でもっとも予想された視線の動きが見られたか

関係	前･後	東･西	大. 小	清･汚	軽･重	明･暗
予想された視線の動き	26	20	21	24	17	15

この結果の値は４章で説明した“空間化”の評定と何らかの関連があるのだろうか．スピアマンの順位相関係数を求めたところ，r_s =0.771 であり，有意傾向（両側検定：p <0.1 ，N =6 ）であった．しかし視覚化，空間化の評定を合計して得られる関係の順位との相関は無かった．

5.4. 考察

図 5.12　対象 Z が図の上方に予想される場合の停留軌跡（被験者３）

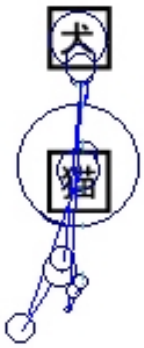


図 5.13　対象 Z が図の下方に予想される場合の停留軌跡（被験者３）

図 5.14　対象 Z が図の右側に予想される場合の停留軌跡（被験者３）

図 5.15　対象 Z が図の左側に予想される場合の停留軌跡（被験者３）

有効な視線データを得ることができた９人の被験者の視線の停留データを分析することで，問題解決中に被験者が，予想したとおりに視線を動かしていることの統計的な確証が得られた．結果を全体的に見た場合，実験中の被験者の視線の動きは大きく二つに大別できる．一つめは，分析した全ての試行の約半数が，図だけの範囲を走査している場合である（ 表７，８参照 ）．二つめは，図以外の領域も走査している場合である．前者の場合，図 5.16 に見られるように，図が縦軸で提示されたときに被験者は図の二つある要素のうちいずれか一方に主に視線を定めたまま問題解決をおこなっていると考えられる（ 被験者２，被験者４，被験者 10 ）場合が多いように見受けられる．これらの被験者は定性観察によれば（視線の動きを録画したビデオを検証した結果）ほとんど図以外の領域を見ることがなく，また，図の要素の片方（ X または Y ）のみに視線をほぼ固定している．このような視線の走査パターンは，図の規則を用いないで問題解決をおこなっているとも考えられる．しかし本研究の関心はその点にはない．本研究の関心は後者にある．この場合，既に見てきたように，被験者は図に表されていない対象 Z が予想される場所により多く視線を停留し，その反対方向には視線を向けていないという強い傾向があった．このことは得られた数値的な視線データに停留点軌跡処理をほどこすことでより視覚的に明瞭になる．例えば，下の図（ 図 5.12 ）は被験者３の問題解決中の停留点軌跡であり，円の大きさがその場所に注がれた視線の時間的な長さを表している．中心の大きな円が二つある図の要素（ X，Y ）のうちの上部分（ X ）に対応しており，さらにその上部の円はこの被験者が図の要素がなにも描かれていないところにも視線を向けていることを示している．図 5.13 からもわかるように，対象 Z が図の下方にあると考えられる場合でも，図の下方に視線の停留がある．被験者３は実際には図の要素は二つしかないけれどもあたかも図の要素が三つあるかのようにふるまっている．図 5.14 と図 5.15 は図が横軸に示された場合の被験者３の視線停留軌跡だが，このときも図が縦軸に示された場合と同様に本来図の対象がない場所に視線の停留があることがわかる．このことは，図が縦軸方向のとき図の片方の要素ばかり見ていると考えられる被験者（ 被験者２，被験者４，被験 10 ）が，図が横軸方向のときには図の二つある要素を交互に見比べる（ 図 5.17 参照 ）ことが多

い[11]（ 付録：図 A.2, A.4, A.10 参照 ）のとは対照的である．

以上のように，本来図として描かれていない場所に図の要素があるかのように視線を向ける行為は，正反対の規則をもつ図や縦横の区別無く観察された．また，空間化が易しい“ 関係 ”から難しい“ 関係 ”においても観察された[12]．このことは，観察された視線の停留が，提示される図の構造的，意味的な規則によって調整されているということを支持している．したがって，本実験の結果は図を用いた推論において，推論は図が表現している対象の表象を操作するというよりむしろ図そのものを仮設的に思い描いていることを支持するだろう．一般的に，画面上での任意の視線走査においては，画面上で情報量が多い部分に視線の停留が集中する．このことからすると本実験で得られた結果は一見，あたりまえのことのようにも思われるが，画面上の何も無い部分に統制どおりに視線停留が見られたということは単なる対象の知覚でないことを示している．

---

[11] このことはどのように説明されるのか．おそらくは人間の視野角が上下方向よりも左右方向に広いという物理的な問題と無関係ではないが，図が縦と横の場合では異なる推論の方略を使っているという可能性，また図が縦軸の問題を終えてから横軸の問題をはじめるために，図が縦軸のときに用いていた方略が使えずに混乱しているという理由も考えられる．

[12] 翻って，5.2.3.の結果からは，図の空間的推移性を用いて推論する方略の頻度と“ 関係 ”についての空間化の評定とは相関があることが示唆された．このことから図的推論において対象を空間的にとらえられることが図の規則を利用するうえで重要だともいえる．

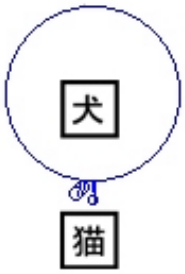


図 5.16　縦図の片方の要素を注視（被験者４）

図 5.17　横図で図の要素を往復（被験者４）

6章 結論

6.1. まとめ

本研究は，図的推論において，対象そのものの表象を扱うのではなく，図そのものの内的表象を利用することで対象について考えるという思考の形式があることを明確にすることを目的としてきた．そのために本研究では推論中の視線の動きがある程度視覚心像を反映しているという最近の研究結果を参考に，推論者が図の視覚的表象を用いて推論しているならばおこるだろう視線の動きを観察するための実験をおこなった．実験では，対象のさまざまな関係についての推論である三項関係問題にあらかじめ，ある規則をもった図を併せて推論者に提示し，問題解決中の推論者の図上での視線の動きを調べた．

実験で三項関係問題とともに提示される図には縦軸方向にある規則を持つものと横軸方向に規則を持つものを用意した．図が縦軸の場合も横軸の場合も，半数の図は正反対の規則を持っていた．問題解決中にある規則をもつ図とそれとは正反対の規則をもつ図を使い分けていることが視線の動きからわかるならば，被験者は現実空間ではなく図固有の空間配置を利用していると考えられるという理由による．

実験の結果, 被験者の視線の動きは大きく二つに分けることができた. 一つは, 図ばかりを見ている場合．もう一つは，図と図以外の範囲を見ている場合である．前者では図の二つある要素のうち一つだけを見ている被験者が多かった．後者の場合，図で表されていない対象が予想される位置を被験者が見ている傾向が強いことがわかった．本来なにも無い場所にあたかも架空の図の要素があるかのようなふるまう視線の動きは，図が縦軸方向，横軸方向のいずれの場合でも，また正反対の規則をもつ図においても同様に観察された. さらに三項関係問題における対象間の“ 関係 ” を状景として想起することが困難な場合，つまり空間化の評定が低い問題においても観察された．

これらの結果は少なくとも推論者の一部が現実空間の空間性や現実の対象の表層的な “ 見え ” を参照するのではなく，図固有の意味規則に則り図の構造的な空間性

を利用して推論をおこなっていることを支持している．図の規則にそって図の要素が描かれていない場所を見るという行為は，実体としての情報が無い場所から何らかの情報を得るふるまいと考えられる．したがって，本研究の結論として，図的推論において，内的に図そのものの視覚的表象を利用する思考形式があるということを記す．

図的推論において図そのものの視覚的表象が内的に推論に用いられていることは以前から述べられてきたが，本研究はこの現象を実証的に示すことで先行研究に経験的な背景を持ち込むことに貢献した．

6.2. 今後の展望

問題解決の眼球運動に関する研究は，大きく２種に分けうる．１つは，眼球運動測定を手段とすることによって，「どこを見たか」ということから問題解決のストラテジーを，あるいは「どのように見たか」ということから被験者の知的特性を明らかにしようとするもの．もう一つは，問題解決時の精神活動が眼球運動にどのような影響を及ぼすかという観点を持つものである（竹田，[17] ）．本研究は，後者の視点をとらなかった．しかし本研究の実験において予想していた視線の動きとは異なり，被験者によってはほとんど図を見ないで問題解決をしていると考えられる場合も観察された（ 分析の対象からは除いた ）．後者の視点で解釈するならば，情報の処理が運動系としての眼球運動に及ぼす影響が多大なためにそのような現象が起こったという解釈ができるかもしれない．また，本研究では開眼中の眼球運動のみを扱ったが，当然ながら問題解決時に目を閉じることも考慮されなれければならないだろう．これらのことからもわかるように，視線データから内的な表象に直結した現象を分析するにはまだ方法論的に困難な点が多いように思われる．本研究では推論者の思考が視線の動きに反映している部分のみを扱うように努めたが，それでもまだ単純には解釈できない視線の動きがあったことは否めない．

また，本研究では図的推論において，被験者が内的に図そのものの視覚的表象を持っている可能性を実験的に示したが，図そのものの内部表現をメンタル・アニメーションのように動的に操作しているということまでは示せなかった．この点は今

後の課題である.

謝辞

本研究を進めるにあたり，多くの方にお世話になりました．とりわけ下嶋先生には面白い研究テーマをいただいき，また常に脱線しかかる私を軌道修正していただきました．長い間ありがとうございました．石崎先生には副テーマを通して実験についての様々な知識を教えていただきました．また知識センターの西本先生には，視線追尾装置を自由に使わせていただきました．ありがとうございました．知識構造論講座の皆さんには予備実験など様々な面で協力していただきました．皆様，感謝いたします．

参考文献

[1] Barwise,J. & Shimojima,A. 1995 Surrogate reasoning. 『認知科学』Vol.2 ,No.4,7-27

[2] Brandt, S. & Stark, L. 1997. Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9（1）, 27-38.

[3] Demarais, Ann M. & Cohen, Barry H. 1998. Evidence for image-scanning eye movements during transitive inference *Biological Psychology* 49, 229-247.

[4] Epelboim, J. & Suppes, P. 2001. A model of eye movements and visual working memory during problem solving in geometry, *Vision Research* 41 1540-1574

[5] Goel, V & Dolan Raymond J. 2001.Functional neuroanatomy of three-term relational reasoning, *Neuropsychologia,* Volume 39, Issue 9, 901-909

[6] Hegarty, M. 1995. Mental Animation. In Glasgow, J., Narayanan, N. & Chandrasekaran, B. （Eds.） *Diagrammatic reasoning*, MIT Press, Cambridge, 535-576.

[7] Hegarty, M. 1997. Individuawl differences in use of diagrams as Memory in Mechanical Reasoning. *Learning & Individual Differences* , Spring97, vol.9 Issue 1, 19-24.

[8] 出原栄一，吉田武夫，渥美浩章,『図の体系』，日科技連，1994.

[9] 川人光男，行場次郎，藤田一郎，ほか,『岩波講座認知科学３：視覚と聴覚』,
岩波書店，1994.

[10] Knauff, M. & Laird, J. 2000 . Visual and Spatial Representations in
Relational Reasoning. *Proceedings of the Twenty-Second Annual
Conference of the Cognitive Science Society.*, 759-763.

[11] Larkin, J. H., & Simon, H. A. 1987. Why a Diagram Is Worth Ten Thousand
Words. In Glassgow, J., Narayanan, N. H., & Chandrasekaran, B.（ Eds. ）,
Diagrammatic Reasoning: Cognitive and Computational Perspectives,
69-109.AAAI Press, Menlo Park, CA.

[12] 斎田真也,「読みと眼球運動」，芋坂良二ほか編,『眼球運動の実験心理学』，名
古屋大学出版会．167-197 頁，1993.

[13] Schwartz, D. 1995. Reasoning about the referent of a picture versus
reasoning about the picture as the referent:An effect of visual realism.
Memory & Cognition, 23（6）, 709-722.

[14] Schwartz, D. & Black, J. 1996. Shuttling Between Depictive Models and
Abstract Rules:Induction and Fallback.*Cognitive Science,* 20, 457-497.

[15] Schwartz,D. 1999.Physical Imagery:Kinematic versus Dynamic Models.
Cognitive Psychology 38, 433-464.

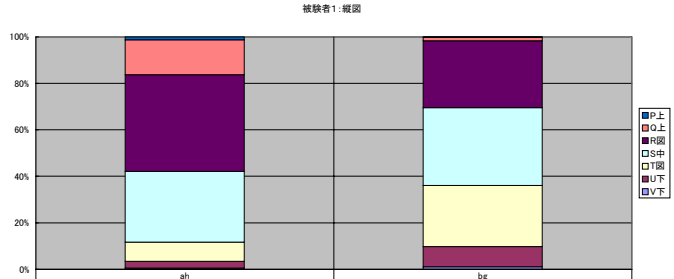
[16] Spivey, M. & Richardson, D. & Tyler, M. & Boung, E. 2000. Eye Movements During Comprehension of Spoken Scene Descriptions. *Proceedings of the Twenty-Second Annual Conference of the Cognitive Science Society.*487-492.

[17] 竹田眞理子,「問題解決と眼球運動」, 芋坂良二ほか編,
『眼球運動の実験心理学』, 名古屋大学出版会. 219-237 頁, 1993.

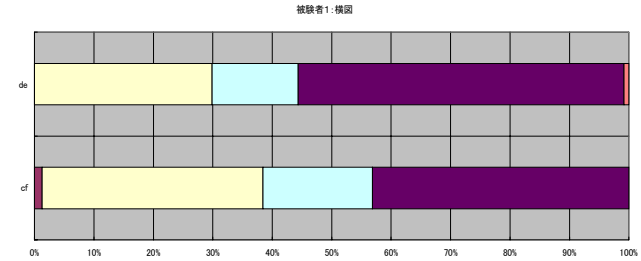
[18] Umata, I., Shimojima, A., Katagiri, Y. 2000. Sequential Integration of Graphic and Linguistic Modalities. Unpublished manuscript.

[19] 淀川英治, 東倉洋一, 中根一成,『視聴覚の認知科学』, 電子通信情報学会, 1998.

付録



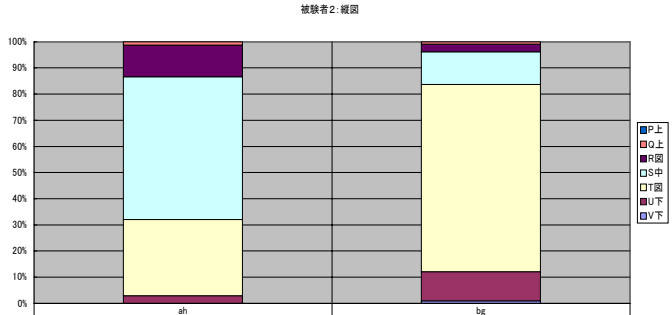
	ah	bg
P上	0.056	0.009
Q上	0.673	0.079
R図	1.857	1.464
S中	1.361	1.699
T図	0.372	1.336
U下	0.131	0.442
V下	0.021	0.055



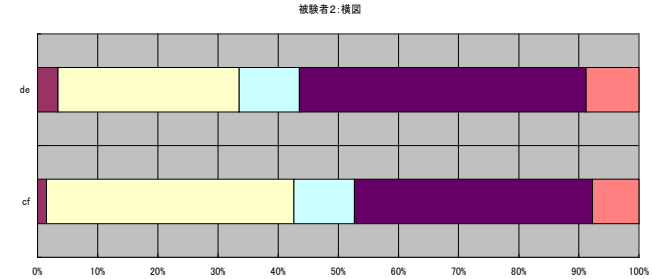
	cf	de
P左	0.000	0.000
Q左	0.000	0.027
R図	1.529	1.823
S中	0.653	0.481
T図	1.318	0.994
U右	0.045	0.000
V右	0.000	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 1　領域 P~V における被験者１の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



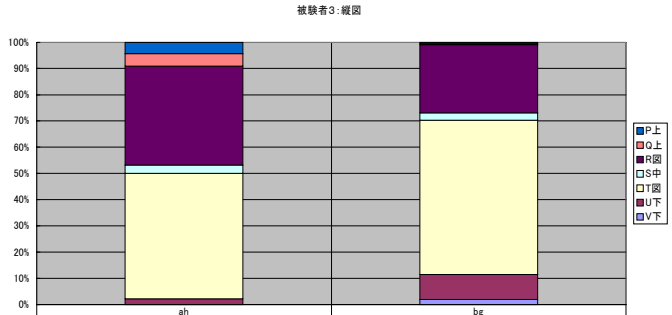
	ah	bg
P上	0.000	0.000
Q上	0.038	0.026
R図	0.392	0.085
S中	1.750	0.358
T図	0.937	2.053
U下	0.093	0.320
V下	0.000	0.027



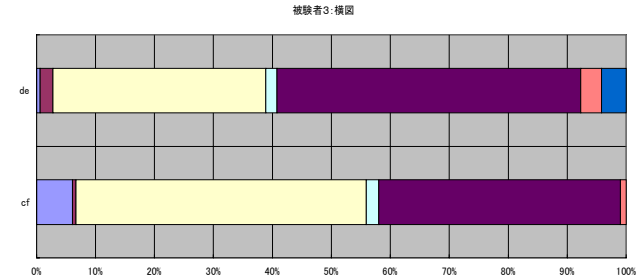
	cf	de
P左	0.000	0.000
Q左	0.351	0.385
R図	1.801	2.089
S中	0.458	0.437
T図	1.871	1.320
U右	0.067	0.148
V右	0.000	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 2　領域 P~V における被験者２の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



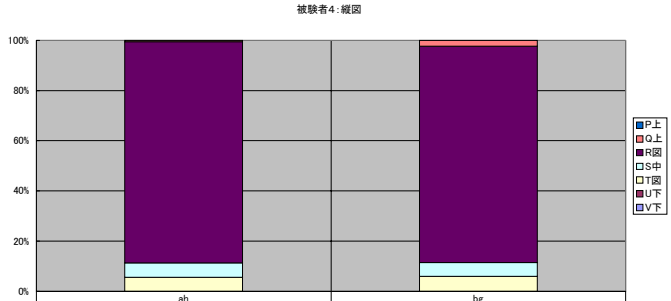
	ah	bg
P上	0.370	0.043
Q上	0.418	0.037
R図	3.252	2.203
S中	0.285	0.237
T図	4.135	4.990
U下	0.182	0.800
V下	0.000	0.163



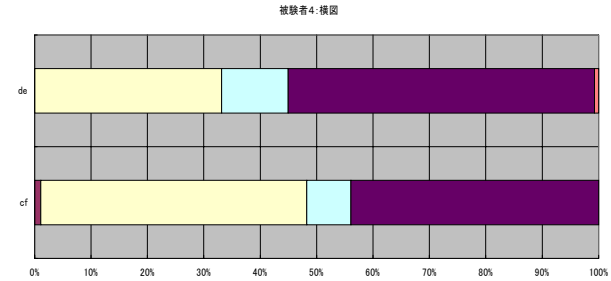
	cf	de
P左	0.000	0.315
Q左	0.080	0.267
R図	3.419	3.873
S中	0.173	0.142
T図	4.108	2.718
U右	0.049	0.161
V右	0.507	0.048

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 3　領域 P~V における被験者３の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



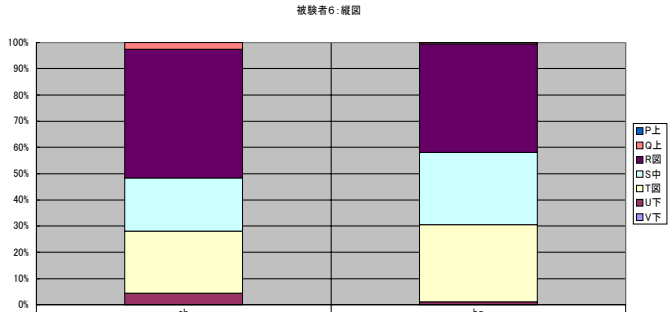
	ah	bg
P上	0.000	0.000
Q上	0.030	0.227
R図	5.418	8.527
S中	0.356	0.540
T図	0.348	0.593
U下	0.000	0.000
V下	0.000	0.000



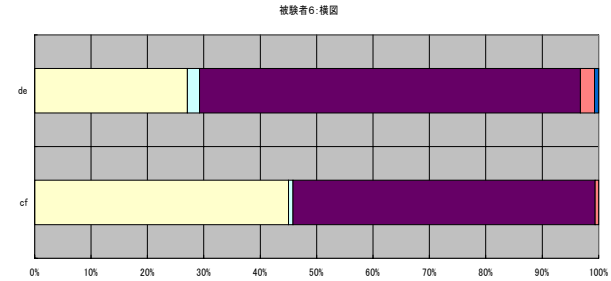
	cf	de
P左	0.000	0.000
Q左	0.000	0.064
R図	3.494	4.830
S中	0.618	1.049
T図	3.755	2.950
U右	0.085	0.000
V右	0.000	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 4　領域 P~V における被験者４の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



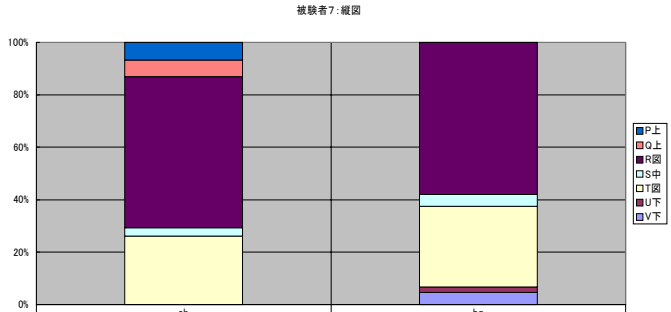
	ah	bg
P上	0.000	0.000
Q上	0.117	0.026
R図	2.195	1.819
S中	0.902	1.211
T図	1.060	1.300
U下	0.197	0.048
V下	0.000	0.000



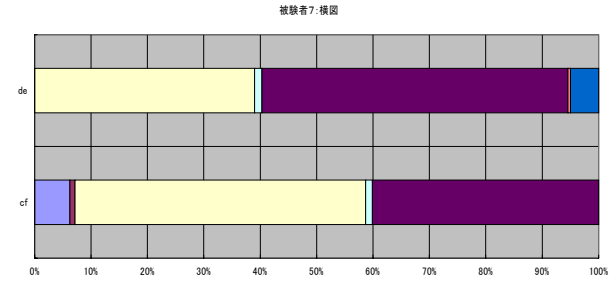
	cf	de
P左	0.000	0.024
Q左	0.018	0.088
R図	1.591	2.368
S中	0.024	0.076
T図	1.336	0.950
U右	0.000	0.000
V右	0.000	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 5　領域 P~V における被験者６の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



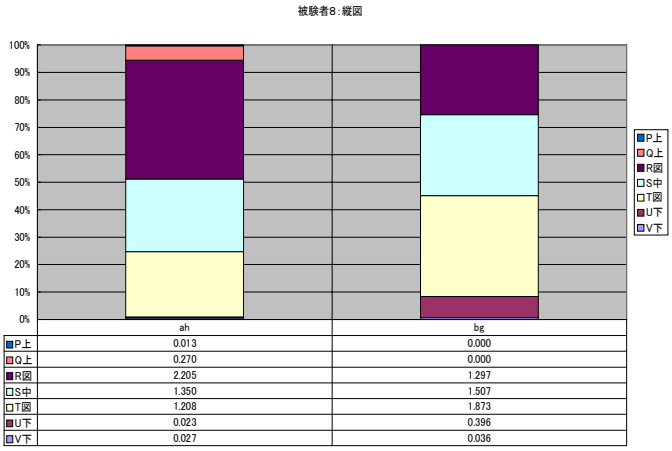
	ah	bg
P上	0.400	0.000
Q上	0.379	0.000
R図	3.421	4.448
S中	0.187	0.347
T図	1.555	2.357
U下	0.000	0.157
V下	0.000	0.362



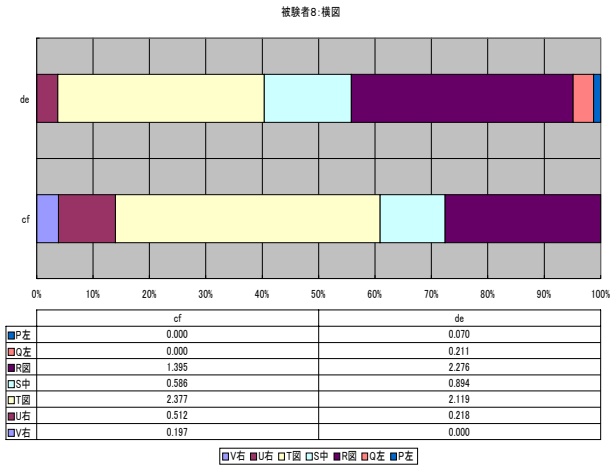
	cf	de
P左	0.000	0.273
Q左	0.000	0.027
R図	3.364	2.987
S中	0.097	0.073
T図	4.317	2.147
U右	0.079	0.000
V右	0.524	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 6　領域 P~V における被験者７の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



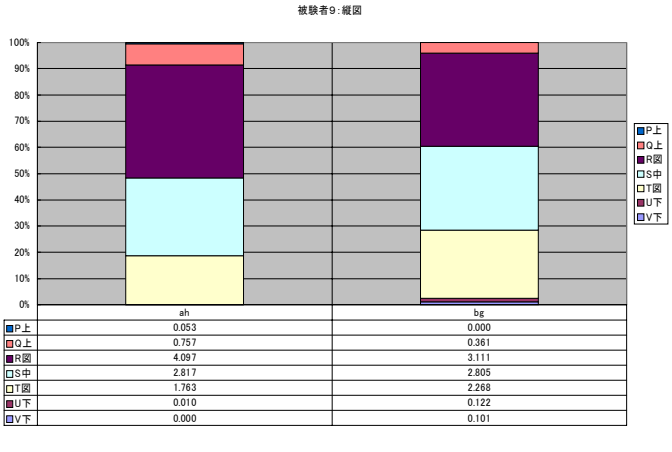
	ah	bg
P上	0.013	0.000
Q上	0.270	0.000
R図	2.205	1.297
S中	1.350	1.507
T図	1.208	1.873
U下	0.023	0.396
V下	0.027	0.036



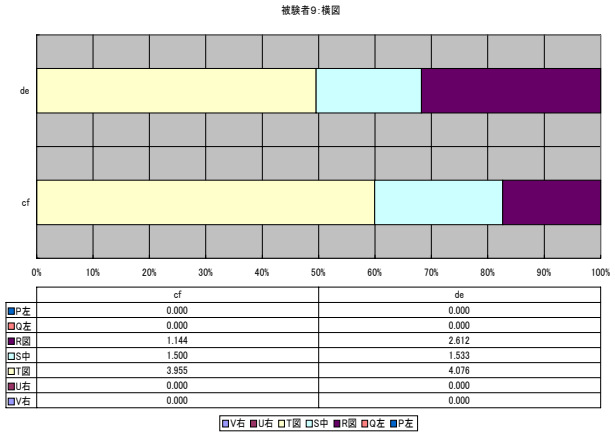
	cf	de
P左	0.000	0.070
Q左	0.000	0.211
R図	1.395	2.276
S中	0.586	0.894
T図	2.377	2.119
U右	0.512	0.218
V右	0.197	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 7　領域 P~V における被験者８の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



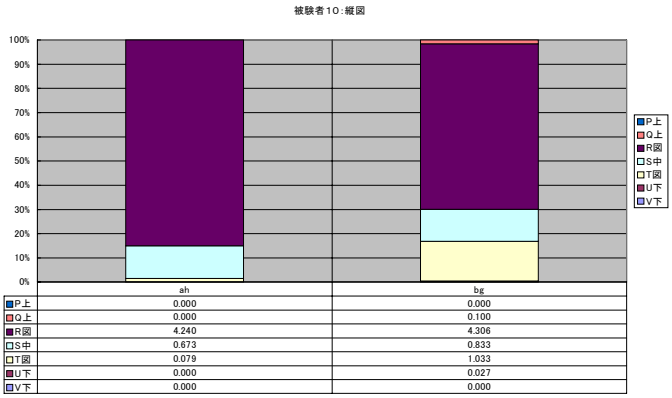
	ah	bg
P上	0.053	0.000
Q上	0.757	0.361
R図	4.097	3.111
S中	2.817	2.805
T図	1.763	2.268
U下	0.010	0.122
V下	0.000	0.101



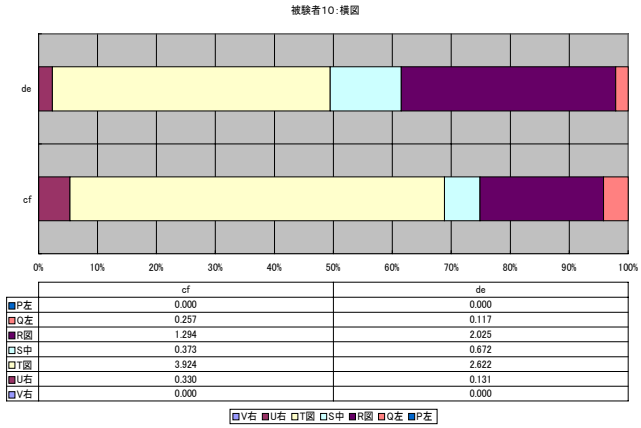
	cf	de
P左	0.000	0.000
Q左	0.000	0.000
R図	1.144	2.612
S中	1.500	1.533
T図	3.955	4.076
U右	0.000	0.000
V右	0.000	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 8　領域 P~V における被験者９の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）



	ah	bg
P上	0.000	0.000
Q上	0.000	0.100
R図	4.240	4.306
S中	0.673	0.833
T図	0.079	1.033
U下	0.000	0.027
V下	0.000	0.000



	cf	de
P左	0.000	0.000
Q左	0.257	0.117
R図	1.294	2.025
S中	0.373	0.672
T図	3.924	2.622
U右	0.330	0.131
V右	0.000	0.000

V右 U右 T図 S中 R図 Q左 P左

図　A. 9　領域 P~V における被験者 10 の相対停留時間平均：縦軸図（左），横軸図（右）