

視知覚における注意研究の動向 —スポットライト・アナロジーを中心として—

筑波大学大学院（博）心理学研究科 熊田 孝恒

筑波大学心理学系 菊地 正

Visual selective attention: On the spotlight analogy

Takatsune Kumada and Tadashi Kikuchi (*Institute of Psychology, University of Tsukuba, Ibaraki 305, Japan*)

Can we shift our attention to various locations in the visual field without shifting our eyes? Lately the number of reports concerning this classic problem has increased. This article reviews recent studies of visual attention especially focusing on characteristics of attentional "spotlight". In the course of the review, we realized that empirical literature was concerned about any of 10 topics of the spotlight. Each topic may be tentatively summarized as follows: (1) Spotlight is independent of the eye movement; (2) Spotlight can not be divided into non-adjacent areas; (3) As the distance between target and spotlight increases, performance decreases; (4) The mode of the attentional movement is analogous; (5) Findings about the speed of attentional movements are inconsistent; (6) Spotlight has spatial anisotropies; (7) The width of spotlight is variable; (8) Results about the form of spotlight are inconsistent; (9) Spotlight can be operated in a three dimensional space; and (10) Inhibitory effects of the attentional point are observed under some conditions.

Key words : spatial attention, spotlight analogy, review.

はじめに

『「注意」について話題にしようとするとき、未だに顔をしかめる実験心理学者が日本には多い』(御領, 1983)といわれるほど、「注意」という概念は最近まで実験心理学のテーマから排除されていた。これは、客観的に観察不可能な人間の内部の状態を扱うことに対する行動主義の影響によるものである。ところが、近年の情報処理論を中心とした認知心理学の隆盛とともに、「注意」という用語を前面に掲げた研究が多く行われるようになってきた。視知覚の領域においても選択的注意に関する研究が多く行われるようになってきている。

視覚における選択的注意の問題の出発点となる重要な観察は、「眼球を動かさずに、視線とは独立に視

野内の特定の位置に注意を移動できる。」というものである。この観察は、Wundt (1912), Helmholtz (1925), James (1890)らがすでに取り上げており、実験心理学における古典的な研究テーマの一つであったといえる。そして、「これは将来注意を論ずる時に最も重要な観察の一つである」という Helmholtz の指摘通り、今日まで多くの研究がなされその成果が蓄積されつつある。

本研究では、視覚における選択的注意に関連する最近の諸研究を取り上げ、スポットライト・アナロジーの観点から概観する。

なお、本論文と関係する研究についてのレビューには、Johnston & Dark (1986), Possamai (1986a), Posner (1980, 1982), 石口 (1983)などがある。

基礎概念

情報処理論的観点から注意を論ずる上での基本的な概念について簡単にまとめる。

(1) パラレル処理とシリアル処理

Broadbent (1958)などを始めとする、人間の情報処理の流れに焦点を当てた研究では、主として、2種類の処理システムを仮定している。一つは、パラレル処理システムであり、もう一つはシリアル処理システムである。パラレル処理システムは、入力された複数の情報を同時に並列的に処理するものである。また、シリアル処理システムは、同時に処理できる情報の容量に限界があるため、限られた情報しか処理できない。このシリアル処理のために情報の選択を行うのが注意であると考えられている。Broadbentはこの注意の働きをフィルターのようなものと考えた。

(2) 初期選択と後期選択

注意を一種の選択機構と考えた場合、選択が刺激処理のどのレベルで行われているかが問題となる。つまり、先に述べたパラレル処理システムによって、どのレベルまで刺激の処理が行われるのかという問題である。パラレルに処理されるのは刺激の物理的属性までと考える説を、初期選択 (early selection) 説とよぶ (e.g., Broadbent, 1958)。一方、意味レベルまでパラレルに処理される、つまり、選択が行われるのは意味レベルであるとする説は後期選択 (late selection) 説と呼ばれている (e.g., Deutsch & Deutsch, 1963)。最近、無意識的プライミングの研究との関連から、後期選択説を支持する研究が多く発表されている (e.g., 川口, 1984)。

(3) 自動的処理と制御的処理

これは、上記の2組の概念と関連して、ShiffrinとSchneider (Shiffrin & Schneider, 1977; Schneider & Shiffrin, 1977) によって提唱された区別である。制御的 (controlled) 処理とは、被験者が刺激対象に注意を向け、シリアルに刺激の処理を行うような場合である。また、自動的 (automatic) 処理では、被験者はまったく注意の制御を必要とせず、刺激をパラレルに自動的に処理する。彼らは、知覚学習によって処理が制御的から自動的へと移行することを示した。

実験方法

視覚的注意の実験方法には様々なものがあるが、代表的なものは以下の3つである。

(1) Eriksen らの視覚的探索課題における pre-cue の効果の研究

これは、Eriksenらが主に用いている方法で、Sperling (1960) の部分報告法の変形である (Colgate, Hoffman & Eriksen, 1973; Eriksen & Eriksen, 1974; Eriksen & Hoffman, 1972a, 1972b, 1973, 1974; Eriksen & Yeh, 1985; Eriksen & Rohrbaugh, 1970; Eriksen & St. James, 1986; Hoffman, 1978, 1979; Hoffman, Nelson & Houck, 1983)。基本的な手続きは以下の通りである。刺激として、仮想円上に8個の文字が短時間提示される。被験者の課題は、この刺激を走査してあらかじめ決められているターゲットを検出することである。ターゲット検出の正確率や反応時間が従属変数となる。刺激提示に先立って、ターゲットの提示される位置を下線やバー・マーカなどによって被験者に知らせる。これは pre-cue と呼ばれる。被験者は pre-cue によって指示された空間位置に注意を向けるのである。この pre-cue とターゲット刺激提示のインターバルを変化させたり、pre-cue で指示される位置数や空間配置を変化させた時の、pre-cue の従属変数に及ぼす効果を調べることによって、注意の時間的・空間的な働きを明らかにしようとするものである。

(2) Posner らの損失一利得 (cost-benefit) 法を用いた研究

Eriksenらの研究が主として文字の検出であったのに対し、Posnerらの課題は光点の検出である (Posner, 1980; Posner & Cohen, 1984; Posner, Nissen & Ogden, 1978; Posner, Snyder & Davidson, 1980)。彼らは、凝視点の左右の様々な位置にターゲットとして光点を提示し、その検出の反応時間を従属変数として測定した。彼らも同様に、刺激が提示される位置についての情報を pre-cue として与える。しかし、実際に pre-cue で指示された位置にターゲットが提示されるとは限らない。pre-cue と同じ場所にターゲットが提示される試行は valid 試行と呼ばれる。また、pre-cue で指示された場所とは異なる場所にターゲットが提示される試行は invalid 試行と呼ばれる。さらに、pre-cue が与えられないで、単にターゲットを検出する試行は neutral 試行と呼ばれる。この neutral 試行と valid 試行の反応時間の差は、注意がその位置に向けられていたた

めの促進効果と考えられ、利得 (benefit) と呼ばれる。また、invalid 試行と neutral 試行の反応時間の差は、他に注意が向けられていたための効果と考えられ、損失 (cost) と呼ばれる。pre-cue とターゲットとの時間的・空間的な関係を操作したときの利得と損失の関係に関する議論を中心にして、注意の働きが検討されている。

Bashinski & Bacharach (1980) は、この損失一利得法の手続きと信号検出の手続きを組み合わせ、ROC 曲線などのより敏感な従属変数を用いて注意の効果を検討している。それによると、促進と抑制の間に非対称性が認められる。

また、pre-cue として、中心窓にターゲットが提示される方向を示す矢印が与えられた場合と、実際にターゲットが提示される周辺位置に与えられた場合では、様々な条件下で成績が異なることから、異なる注意のコントロール機構が存在していることが指摘されている (Jonides, 1981)。これによると、周辺位置に pre-cue が提示された場合には、自動的・反射的な注意のコントロールが行われるのに対し、中心窓に pre-cue が提示された場合には、自発的・方略的な注意のコントロールが行われていることが示唆されている。

(3) 二重課題 (dual-task) を用いた研究

上記の 2 つの実験方法はターゲットの検出成績によって注意の効果を測定しようとしていた。これに対し、ターゲットの検出時にそのターゲットに配分されている注意を別の指標により測定しようとした研究方法がある。これは二重課題 (dual-task) と呼ばれている (Posner & Boies, 1971; Posner 1978)。ここでは、Sagi & Julesz (1986) の研究を紹介する。被験者には 2 種類の課題を同時にを行うことが要求される。一つの課題は線分、または、文字の弁別である。これを、ここでは第 1 課題と呼ぶ。もう一つの課題は、光点の検出である。これを第 2 課題と呼ぶ。この線分 (または、文字) と光点の間の距離を様々なに変化させて両刺激を提示し、第 1 課題を処理しているときに同時に処理できる光点の空間的な範囲を求める。これは、第 1 課題の処理のために向けられている注意の空間的範囲を、第 2 課題を用いて測定しようとしているという意味で二重課題となっている。これに類する研究として、LaBerge (1983), LaBerge & Brown (1986), Ikeda & Takeuchi (1975) などがある。

注意の効果が認められない研究

初期の研究の中には、最近の諸研究と類似した実験手続きを用いていながら、注意の効果が認められなかったものがある (Mowrer, 1941; Mertens, 1956; Grindley & Townsend, 1968; Shiffrin & Gardner, 1972; Shiffrin & Geisler, 1973; Shiffrin, McKay & Shaffer, 1976)。

しかし、これらの研究については、それぞれに注意の効果の得られなかつた原因が指摘されており、その点を改良した研究では何れも注意の効果が認められている。例えば、Grindley & Townsend (1968) については Van der Heijden, Schreuder & Wolters (1985) や Posner & Cohen (1984) 等が、また、Shiffrin et al. (1976) については Keren & Skelton (1976) 等がある。

したがって、今日の研究においては、視覚情報処理過程において注意の働きが関与していることに関してはいずれの研究者も合意するところであり、研究の焦点は注意の詳細な特性の解明に移っているといえる。

スポットライト・アナロジー

(1) アナロジー

人間の情報処理プロセスとして、パラレル処理とシリアル処理があり、この両者の間にあって情報の選択を行うものとして注意が位置づけられてきたことはすでに述べた。このようなものとして注意を考えようというアイディアは古くからあった。スコットランド学派最後の哲学者と称されるハミルトン卿 (Sir. William Hamilton, 1788-1856) は著書 "Lectures on Metaphysics and Logic" (1859) の中で、「限界の法則」(The Law of Limitation) を提唱し、「我々の知識の強度はその広がりと逆比例の関係にある。言い換えるなら、我々が一度に考慮する対象数が減るほど、その対象に対する我々の知識はより明瞭になり、よりはっきりしてくる。」と述べている。これは、今日のスポットライト・アナロジーとまったく同じものである。

このようにある広がりをもって対象を選択する注意のメカニズムをスポットライトにたとえ、これを作業仮説として、視知覚における選択的注意の問題を考えようというのが、ここでいうスポットライト・アナロジーである。本節では、スポットライト・アナロジーのバリエーションを 2 つ紹介する。

Jonides (1980, 1983) は眼球運動との類推から注意の空間的範囲を mind's eye と呼んだ。この

mind's eye は次の 2 つのモードからなっている。モード 1：注意がディスプレイ全体に配分されており、パラレル・サーチが行われる。モード 2：pre-cue が与えられたときに、その位置に注意を集中し、シリアル・サーチが行われる。この 2 つのモードは刺激事態によって何れかが選択される。pre-cue がないときはモード 1 のままである。pre-cue があるとモード 2 になりその位置に注意が集中される。pre-cue が invalid のときにはモード 1 に戻り、パラレル・サーチが行われる。

Eriksen & Yeh (1985) と Eriksen & St. James (1986) は Jonides の 2 モードを連続的な注意モードの両極と考える。つまり、注意は 2 つのモードに分かれのではなく、注意は連続的に変化し、この間のいずれかの状態をとるというものである。そこで、彼らは広視野低解像度モードと狭視野高解像度モードの間で可変のズーム・レンズを注意のアナロジーとした。そこでは、注意の範囲の広さとその中の情報処理の精度との間のトレード・オフが仮定されている。これは、ハミルトン卿の「限界の法則」と非常に類似している。

このようなスポットライト・アナロジーが特に注目する現象は次の 2 つである。

① 我々が視野内で同時に注意できる範囲は限られている。

② 我々が注意できる範囲は凝視点とは独立である。

(2) スポットライトの特徴

前節では、視覚的注意がある空間的な広がりをもち、凝視点とは独立に視野内を移動するという現象をうまく表現するためにスポットライトのアナロジーが提案されていることを述べた。本節では、視覚的注意に関する諸知見を、このスポットライトの特徴としてまとめてみる。ここで、取り上げる研究は必ずしも前に述べたいのちのアナロジーに基づいて進められた研究ではない。しかし、その解釈に関しては、視覚的注意が何らかのスポットライト的な働きをしていることを想定していると考えられる。

① 注意は眼球運動と独立。

我々が凝視点とは別の位置に注意ができるということについては、Helmholtz の観察を始めとして、本論文で紹介するほとんどの研究で、様々な形で報告されている。

さらに、サッケードとの関係については、眼球運動の準備状態は注意の移行を誘発しないし、また、注意の移行が眼球運動の準備ともならないことが報告されている (Klein, 1980)。これに対し、眼球運動

に先行して注意が移行するという報告 (Remington, 1980) や、眼球運動とともになわざに注意の移動が可能であるが、注意の移動をともなわざに眼球運動はできないという報告 (Shepherd, Findlay, & Hockey, 1986) もある。また、最近、エキスプレス・サッケードと呼ばれる潜時が 80~100ms の非常に高速な眼球運動と視覚的注意との関係が示唆されている (Mayfrank, Mobashery, Kimming & Fischer, 1986)。

② 注意は非隣接領域に分割できない。

一般に、スポットライトのビームは空間的に分離している領域に分割できないという結果が多い (Posner, Snyder & Davidson, 1980; Eriksen & Yeh, 1985; 熊田, 1985)。

例えば、Posner, Snyder & Davidson (1980) は、実験 V で、被験者に 2 つの位置に同時に注意をするように要求した。その結果、被験者は 2 つの位置が隣接している場合には両方に同時に注意ができたが、両者が離れているときには同時に注意できなかった。このことは、スポットライトが空間的に離れた位置に分割できないことを示している。

しかし、これに反する結果もある。Shaw (1978)、および、Shaw & Shaw (1977) は pre-cue 法を用い、注意を複数の空間位置に非常にフレキシブルに配分できることを示した。彼らは、pre-cue として、ターゲットの出現位置だけでなく、各位置ごとのターゲットの出現確率を被験者に伝えた。彼らの結果では、この出現確率に対応するように注意を各位置に配分できる、つまり、ターゲットが出現しやすいところは多くの注意を配分し、ターゲットがあまり出現しないところには注意をあまり配分しないことが可能であるとされている。この結果は、複数の位置に同時に注意できるばかりでなく、その複数の位置間で配分する注意の量を様々に調節できることを示している。また、神宮 (1979) は Shaw らの研究に周辺視条件を加えて実験を行い、周辺視でも同様の結果が得られることを確認している。しかし、これらの結果について、Posner, Snyder & Davidson (1980) は分割不可能なスポットライトによっても説明できることを示唆している。Posner らによる解釈は以下の通りである。Shaw らの用いた pre-cue は 1 ブロック内での出現確率を示したものであって、得られた結果も 1 ブロックの平均的な成績である。したがって、各試行ごとにこの出現確率に従った注意の配分が行われていたとは限らず、全体の出現確率に合った相対的頻度でスポットライトが 1 つの位置に向けていたとも考えられる。

また、Egly & Homa (1984) は、凝視点を中心と

した3重の仮想同心円上に文字を提示し、pre-cueとして3重の円のうち何番目の円にターゲットが出現するかをあらかじめ被験者に教えるという課題を用いた。被験者には同心円上に提示される文字の認識(identification)，または、その位置の認識(localization)が求められ、その正答率が従属変数であった。結果は、valid試行においては促進効果がみられた。興味深い結果はinvalid試行時に認められた。2番目の円にターゲットが出現するというpre-cueが与えられ、実際にはそれより内側にターゲットが出現した場合の成績と、実際には一番外側にターゲットが提示された場合の成績がともにvalid試行の成績より低かった。つまり、被験者は2番目の円に注意している場合には、それより内側にある円には注意をしていないことになる（リング仮説）。これは、意図的に注意を複数の領域に向けることができるこことを示唆している。しかし、Joula, Crouch & Cocklin (1987)ではこのリング仮説は再確認できなかつた。

③ 注意をしている位置からはなれるに従い成績は低下する。

熊田(1985)は、pre-cueを与えた位置とその周辺の位置で、プローブに対する反応時間を測定した。その結果、注意している位置が最も反応時間が短く、そこから離れるに従って長くなるという分布を得た。

Shulman, Wilson & Sheehy (1985)によると、ターゲットと注意の焦点との距離が増加するに従って、ターゲットに対する反応時間も増加する。つまり、注意の焦点を中心とした注意の分布が形成されていることが示唆される。

④ 移行様式はアナログ式。

注意がある場所から他の場所に移動するときにその中間の場所を通過することが報告されている (Shulman, Remington & McLean, 1979)。つまり、スポットライトは視野内をアナログ的に移動し、ジャンプはない。

⑤ 移動速度。

スポットライトが視野内を移動するときの速度を測定した研究には、Tsal (1983), 安本(1983)などがある。Tsal (1983)によると、移動速度は視角 $1^{\circ}/8\text{ ms}$ であった。これは、凝視点からターゲットまでの距離、および、刺激提示位置を示すcueとターゲットの間のSOAを組織的に変化させることにより測定されたものである。安本(1984)は、被験者に対し注意が目標点に達したと思ったらキーを押すという課題を課して注意の移動速度を推定している。それによると、移動速度は $1^{\circ}/24.7\text{ ms}$ となり、Tsalの推定速度の約1/3であった。両者の速度の違いは、

課題や測定法、その精度などの違いによるものと考えられる。

Remington & Pierce (1984)は、周辺視野の刺激の知覚には時間が必要である点を指摘し、周辺視野の反応時間の遅れが単に移動速度を反映したものではないとして、Tsalの結果に疑問を投じた。そして、これらの問題点を考慮した実験で、移動距離に関係なく移動所要時間が一定である、つまり、移動速度は距離に比例するという結果を得た。

⑥ 空間的異方性。

Crassini (1986)は、スポットライトの形態が凝視点からの方向や位置によって変化するという現象を視覚的注意の空間的異方性(spatial anisotropies of visual attention)と呼んだ。これを支持する報告には以下のようなものがある。

注意の効果の及ぶ空間的範囲、つまりスポットライトのサイズは中心視より周辺の方が大きい(Shulman, Wilson & Sheehy, 1985)。また、周辺でも凝視点から離れるに従ってスポットライトは大きくなる(Sagi & Julesz, 1986)。

中心視野において注意視野は垂直方向より水平方向のほうが広い(Egly & Homa, 1983；熊田・菊地,印刷中)。

⑦ 幅は可変。

注意のスポットライトの幅は、課題の要求により変わることが示唆されている(Humphreys, 1981; LaBerge, 1983; Hoffman et al., 1983)。

熊田・菊地(印刷中)は、位置の再認記憶事態におけるプローブに対する反応時間を注意の分布という観点から検討し、処理すべき対象数の増加とともに、注意の分布は狭くなるという結果を得た。これはスポットライトの幅が処理容量の限界に規定されていることを示している。

LaBerge (1983)は、二重課題を用い、第1課題として5文字を提示し、その中央の1文字に注意し、その1文字を報告する条件(1文字条件)と、5文字全体に注意し、その5文字を報告する条件(5文字条件)を設けた。第2課題は、5文字の提示直後に5文字の位置のどこかに提示されるプローブに反応することであった。第2課題のプローブに対する反応時間を比較すると、5文字条件では、プローブ位置に関係なく一定であったのに対し、1文字条件では、中央が速く周辺が遅いというV字型になった。LaBergeは、この反応時間の促進効果をスポットライトと考え、その幅を課題要求に従って変化できると示唆した。

また、スポットライトの最小幅を調べた研究によると、最小幅は約 1° (Eriksen & Hoffman, 1972b,

1973) であり、この1°の中でもビームの強さは周辺で減少する (Estes, 1982)。

これらの結果を総合すると、スポットライトの最大幅は処理容量の限界により決定される。また、処理容量の限界に達していない場合には、処理すべき課題の要求によって変化する、ということになる。

⑧ スポットライトの形態。

注意のスポットライトを周辺に向かた場合、中心視との関係がどうなるかについては見解が異なっている。

Engel (1971) は、ノイズの中からターゲットを検出できる視野の範囲(有効視野)は、視野の周辺に注意を向けた場合、有効視野範囲が注意を向けた方に広がることを示した。つまり、中心視+スポットライトという形になる。ただし、このとき中心視とスポットライトが分離することはない。

一方、Posner (1980) や Sagi & Julesz (1986)によると、スポットライトが周辺に移行すると、中心視の感度は低下する。つまり、周辺のみにスポットライトがあたっている形になる。これらの結果の違いについて Posner (1980) は、Engel の用いた課題が視力課題 (acuity task) であるのに対し、Posner (1980) は検出課題である点を指摘し、これが、異なる結果を生み出したとしている。

⑨ 3次元空間での注意。

以上①～⑧の特徴は、主に観察者からある一定の距離にある平面上の注意の移動を扱った研究であったが、輻輳運動を伴わずに3次元の奥行き方向に注意を移行できるという報告もある (Downing & Pinckner, 1985; Gawryszewski, Riggio, Rizzolatti & Umiltá, 1987)。

さらに、Gawryszewski, Riggio, Rizzolatti & Umiltá (1987) により、ある点に注意しているときに、その点より近いところに提示されたターゲットの反応時間と、その点より遠いターゲットの反応時間を比較すると、注意点より近いところの反応時間の方が短いことが報告されている。

⑩ 注意点での抑制効果。

①～⑨までの各特徴は、注意の促進効果を示すものであるが、ある点に注意することによりその位置での処理が抑制されることもある。

Posner & Cohen (1983) は、損失一利得法の手続きを用いて、pre-cue が与えられた位置での抑制効果を見いだした。彼らは、pre-cue とターゲットの間の SOA を 0～500ms の範囲内で 5 段階に変化させて valid 試行、neutral 試行、invalid 試行の各反応時間を測定した。これによると、SOA が 0～300ms の間では valid 試行の反応時間の方が invalid 試行よ

り短いが、300ms 以降では、valid 試行の反応時間の方が長くなつた。このような抑制効果は Maylor (1985), Possamai (1986b)などでも報告されている。

Posner らは、時間経過にともない、スポットライトが pre-cue で指示された位置から他の位置へ移動してしまつたために、pre-cue で指示された位置で抑制効果が生じたと考えた。

スポットライト・アナロジーの評価

本論文では、視知覚における選択的注意の問題をスポットライト・アナロジーという観点から展望した。そして、古典的研究テーマが現代の情報処理論的なアプローチの中でどの様に扱われ、研究が進められてきたかが明らかとなった。しかし、このスポットライト・アナロジーのみで、視知覚における選択的注意の問題のすべてが説明できるわけではない。例えば、Neisser & Becklen (1975) は、2種類の線動画を重ね合わせて提示し、その一方の線画のみに注意できることを示した。この結果は、注意した空間範囲内のすべての対象が処理されることを仮定するスポットライト・アナロジーでは解釈できないものである。つまり、これはスポットライトの中でも別のレベルの選択が行われていることを示している。

このように、スポットライト・アナロジーは、注意に関連する広範な諸現象には適用できないという限界を持っている。また、これは注意という概念の定義の問題ともかかわってくるものであり、容易に解決できるものでもない。しかし、一つの作業仮説としてのスポットライト・アナロジーの有効性とその限界について検討することは、十分に意義のあることであり、視知覚のメカニズム解明に寄与することになるであろう。

引用文献

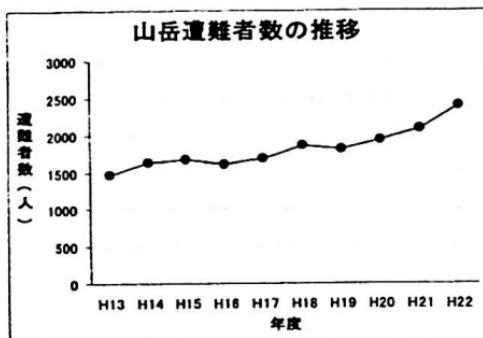
- Bashinski, H.S., & Bacharach, V.R. 1980 Enhancement of perceptual sensitivity as the result of selectively attending to spatial locations. *Perception & Psychophysics*, 28, 241-248.
- Broadbent, D.E. 1958 *Perception and communication*. Pergamon.
- Colgate, R., Hoffman, J.E., & Eriksen, C.W. 1973 Selective encoding from multielement visual display. *Perception & Psychophysics*, 14, 217-224.
- Crassini, B. 1986 On the spatial distribution of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*,

- 12, 380-382.
- Deutsch, J., & Deutsch, D. 1963 Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
- Downing, C.J., & Pinker, S. 1985 The spatial structure of visual attention. In M.I. Posner, & O.M.I. Marin (Eds.), *Attention and Performance XI*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, N.J., Pp. 171-187.
- Egly, R., & Homa, D. 1984 Sensitization of the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 778-793.
- Engel, F.L. 1971 Visual conspicuity, directed attention and retinal locus. *Vision Research*, 11, 563-576.
- Eriksen, B.A., & Eriksen, C.W. 1974 Effects of noise letters on the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16, 143-149.
- Eriksen, C.W., & Hoffman, J.E. 1972a Some characteristics of selective attention in visual perception determined by vocal reaction time. *Perception & Psychophysics*, 11, 169-171.
- Eriksen, C.W., & Hoffman, J.E. 1972b Temporal and spatial characteristics of selective encoding from visual displays. *Perception & Psychophysics*, 12, 201-204.
- Eriksen, C.W., & Hoffman, J.E. 1973 The extent of processing of noise elements during selective encoding from visual displays. *Perception & Psychophysics*, 14, 155-160.
- Eriksen, C.W., & Hoffman, J.E. 1974 Selective attention: Noise suppression or signal enhancement? *Bulletin of the Psychonomic Society*, 4, 587-589.
- Eriksen, C.W., & Rohrbaugh, J.W. 1970 Some factors determining efficiency of selective attention. *The American Journal of Psychology*, 83, 330-342.
- Eriksen, C.W., & St. James, J.D. 1986 Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, 40, 225-240.
- Eriksen, C.W., & Yeh, Y. 1985 Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 583-597.
- Estes, W.K. 1982 Similarity-related channel interactions in visual processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 353-382.
- Gawryszewski, L.G., Riggio, L., Rizzolatti, G., & Umiltà, C. 1987 Movements of attention in the three spatial dimensions and the meaning of "neutral" cues. *Neuropsychologia*, 25, 19-29.
- 御領 謙 1983 注意研究の変遷 サイコロジー, 40, 12-18.
- Grindley, G.C., & Townsend, V. 1968 Voluntary attention in peripheral vision and its effects on acuity and differential thresholds. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 11-19.
- Hamilton, W. 1859 *Lectures on Metaphysics and Logic* (Vol. 1). Edinburgh: Blackwood.
- Helmholtz, H. von. 1925 *Physiological optics*. Vol. 3. (Trs & ed. by J.P.C. Southall) Washington, D.C.: Optical Society of America.
- Hoffman, J.E. 1978 Search through a sequentially presented visual display. *Perception & Psychophysics*, 23, 1-11.
- Hoffman, J.E. 1979 A two-stage model of visual search. *Perception & Psychophysics*, 25, 319-327.
- Hoffman, J.E., Nelson, B., & Houck, M.R. 1983 The role of attentional resources in automatic detection. *Cognitive Psychology*, 51, 379-410.
- Humphreys, G.W. 1981 On varying the span of visual attention: Evidence for two modes of spatial attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 33A, 17-31.
- Ikeda, M., & Takeuchi, T. 1975 Influence of foveal load on the functional visual field. *Perception & Psychophysics*, 18, 255-260.
- 石口 彰 1983 知覚と注意 心理学評論, 26, 180-201.
- James, W. 1890 *The principles of psychology*. New York: Dover.
- 神宮英夫 1979 探索理論と注意の分割について 人文学報（東京都立大学人文学部）133, 35-52.
- Johnston, W.A., & Dark, V.J. 1986 Selective attention. *Annual Review of Psychology*, 37, 43-75.
- Jonides, J. 1980 Towards a model of the mind's eye's movement. *Canadian Journal of Psychology*, 34, 103-112.
- Jonides, J. 1981 Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. Long

- & A.D. Baddeley (Eds.) *Attention and Performance IX*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N.J., Pp. 187-203.
- Jonides, J. 1983 Further toward a model of the mind's eye's movement. *Bulletin of Psychonomic Society*, **21**, 247-250.
- Joula, J.F., Crouch, T., & Cocklin, T. 1987 Voluntary control of attention near the fovea. *Acta Psychologica*, **64**, 207-217.
- 川口 潤 1984 認知情報処理における意識と注意—方法論的問題を中心に—奈良女子大学文学部研究報告, **28**, 113-135.
- Keren, G., & Skelton, J. 1976 On selecting between theories of selective attention. *Perception & Psychophysics*, **20**, 85-86.
- Klein, R. 1980 Does oculomotor readiness mediate cognitive control of visual attention? In R.S. Nickerson (Ed.), *Attention and Performance VIII*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N.J., Pp.259-276.
- 熊田孝恒 1985 位置の知覚の空間特性に及ぼす選択的注意の効果 筑波大学人間学類卒業論文
熊田孝恒・菊地 正(印刷中) 位置の再認における空間的注意の分布 心理学研究
- LaBerge, D. 1983 Spatial extent of attention to letters and words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **9**, 371-379.
- LaBerge, D., & Brown, V. 1986 Variations in size of the visual field in which targets are presented: An attentional range effect. *Perception & Psychophysics*, **40**, 188-200.
- Mayfrank, L., Mobashery, M., Kimming, H., & Fischer, B. 1986 The role of fixation and visual attention in the occurrence of express saccades in man. *European Archives of Psychiatry and Neurological Sciences*, **235**, 269-275.
- Maylor, E.A. 1985 Facilitatory and inhibitory components of orienting in visual space. In M. I. Posner, & O.M.I. Marin (Eds.), *Attention and Performance XI*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N.J., Pp.189-204.
- Mertens, J.J. 1956 Influence of knowledge of target location upon the probability of observation of peripherally observable test flashes. *Journal of the Optical Society of America*, **46**, 1069-1070.
- Mowrer, O.H. 1941 Preparatory set (expectancy) —Further evidence of its 'central' locus. *Journal of Experimental Psychology*, **28**, 116-133.
- Neisser, U., & Becklen, R. 1975 Selective looking: Attending to visually specified events. *Cognitive Psychology*, **7**, 480-494.
- Posner, M.I. 1978 *Chronometric explorations of mind*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N.J.
- Posner, M.I. 1980 Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **32**, 3-25.
- Posner, M.I. 1982 Cumulative development of attentional theory. *American Psychologist*, **37**, 168-179.
- Posner, M.I., & Boies, S.J. 1971 Components of attention. *Psychological Review*, **78**, 391-408.
- Posner, M.I., & Cohen, Y. 1984 Component of visual orienting. In H. Bouma & D.G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and Performance X*. Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale. N. J., Pp. 531-556.
- Posner, M.I., Nissen, M.J., & Ogden, W.C. 1978 Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H.I. Pick & I.J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale N.J.
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R., & Davidson, B.J. 1980 Attention and detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, **109**, 160-174.
- Possamai, C.A. 1986a Composante spatiale de l'attention: Résultats et théories. *Revue Canadienne de Psychologie*, **40**, 388-413.
- Possamai, C.A. 1986b Relationship between inhibition and facilitation following a visual cue. *Acta Psychologica*, **61**, 243-258.
- Remington, R.W. 1980 Attention and saccadic eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance*, **6**, 726-744.
- Remington, R., & Pierce, L. 1984 Moving attention: Evidence for time-invariant shifts of visual selective attention. *Perception & Psychophysics*, **35**, 393-399.
- Sagi, D., & Julesz, B. 1986 Enhanced detection in the aperture of focal attention during simple discrimination tasks. *Nature*, **321**, 693-695.

- Schneider, W., & Shiffrin, R.M. 1977 Controlled and automatic human information processing. I. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Shaw, M.L. 1978 A capacity allocation model for reaction time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 586-598.
- Shaw, M.L., & Shaw, P. 1977 Optimal allocation of cognitive resources to spatial locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 201-211.
- Shepherd, M., Findlay, J.M., & Hockey, R.J. 1986 The relationship between eye movements and spatial attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 475-491.
- Shiffrin, R.M., & Gardner, G.T. 1972 Visual processing capacity and attentional control. *Journal of Experimental Psychology*, 93, 72-82.
- Shiffrin, R.M., & Geisler, W.S. 1973 Visual recognition in a theory of information processing. In R. Solso (Ed.) *The Loyola Symposium: Contemporary viewpoints in cognitive psychology*. Winston. Washington, D.C., Pp. 53-101.
- Shiffrin, R.M., McKay, D.P., & Shaffer, W.O. 1976 Attending to forty-nine spatial positions at once. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 14-22.
- Shiffrin, R.M., & Schneider, W. 1977 Controlled and automatic human information processing. II. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Shulman, G.L., Remington, R.W., & McLean, J.P. 1979 Moving attention through visual space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 522-526.
- Shulman, G.L., Wilson, J., & Sheehy, J.B. 1985 Spatial determinants of the distribution of attention. *Perception & Psychophysics*, 37, 59-65.
- Sperling, G. 1960 The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74.
- Tsal, Y. 1983 Movements of attention across the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 523-530.
- Van der Heijden, A.H.C., Schreuder, R., & Wolters, G. 1985 Enhancing single-item recognition accuracy by cueing spatial locations in vision. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 427-434.
- Wundt, W. 1912 *Introduction to psychology*. (Trs. R. Pinter) London: Allen.
- 安本りか 1984 注意の移行にともなう周辺野視力の変化 筑波大学人間学類卒業論文

問 1.12 次の図は、平成 22 年度までの 10 年間の山岳遭難者数の推移を表している。



この資料からもわかるように、この 10 年間の山岳遭難者数は増加の傾向がみられる。平成 18 年度以降の 60 歳以上の遭難者数をみると、次の表のようになっている。

年度	H18	H19	H20	H21	H22
60 歳以上の遭難者数	909	871	1004	1040	1198

これらの結果からわかることとして、最も適切なものを次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 60 歳以上の登山者は遭難する割合が高い。
- ② 60 歳以上の遭難者数は、平成 19 年度以降、年々増加している。
- ③ 遭難者に占める 60 歳以上の遭難者の割合は年々増加している。
- ④ 60 歳以上の人口が増えているので、60 歳以上の登山者数も増えている。

2. 量的変数の要約方法

この章での目標

- 連続的な量的変数について、度数分布表の作成方法と意味を理解する
- ヒストグラムの作成方法と意味を理解する
- 度数分布やヒストグラムを用いて、分布の様子を調べる
- 相対度数と累積相対度数の関係を理解する
- データの分布の特徴を表す5つの数値を求め、分布を要約する
- 箱ひげ図で分布の情報を理解し、異なる集団の分布を比較する
- データの散らばりの尺度を理解し、データの散らばりを把握する

■ ■ ■ Key Words

- 階級と階級値
- 度数と相対度数
- 度数分布とヒストグラム、度数分布多角形
- 分位数、四分位数（第1四分位数、第3四分位数）
- 5数要約
- 範囲、四分位範囲
- 箱ひげ図、並行箱ひげ図

§ 2.1 度数分布表の作成

1章で説明したとおり、質的変数と量的変数の区別の他、量的変数については、さらに離散的な変数と連続的な変数に区別することがある。ある高校に在籍する生徒を例にすると、兄弟姉妹の人数や家族の所有する携帯電話の台数などは0,1,2,...と、とびとびの値を取る離散変数である。このような変数については、生徒ごとの人数または台数をカテゴリと考えて度数を数えたり、棒グラフを描くことで分布の状況を把握できる。ただし、離散的な量的変数に関しては数値に大きさとしての意味があるという点で、質的変数の分析とは区別される。

これに対して、身長や50m走のタイムのような連続的な値を取る変数では、それぞれの測定結果は少しずつ異なっており、厳密には同じ値はほとんど出現しない。そのため、質的データや離散的な変数の場合のように、同じカテゴリの度数を数える形で集計するのではなく、観測値をいくつかのグループに分けて、その度数を調べる必要がある。

ある学校の給食の献立表では、献立の横にエネルギー量が示されている。ある年の4月と5月の献立表で32日間のエネルギー量（単位kcal）を調べると、表2.1のような値が得られた。

表2.1 納食のエネルギー量 (kcal)

526	380	392	294	411	579	698	417	416	454
615	467	582	558	611	544	579	586	646	587
560	584	531	528	569	629	646	591	609	500
586	604								

32日間の最小値は294(kcal)であり、最大値は698(kcal)である。そこで、250(kcal)から700(kcal)を、幅50(kcal)ずつ9個のグループに分けてそれらの度数を数えると、表2.2のように整理される。

変数が取る値の範囲をグループ分けした、それぞれの区間を階級という。階級に含まれる観測値の個数をその階級の度数（頻度）といい、階級ごとに度数を整理したものを度数分布、その表を度数分布表といふ。また、各階級

表 2.2 給食のエネルギー量の度数分布表

階級 以上	度数 未満	相対度数 (%)	累積相対度数 (%)
250 ~ 300	1	3.1	3.1
300 ~ 350	0	0.0	3.1
350 ~ 400	2	6.3	9.4
400 ~ 450	3	9.4	18.8
450 ~ 500	2	6.3	25.1
500 ~ 550	5	15.6	40.7
550 ~ 600	11	34.4	75.1
600 ~ 650	7	21.9	97.0
650 ~ 700	1	3.1	100.0
合計	32	100.0	—

注：四捨五入の関係で合計は 100.1 となる。

を代表する値を階級の代表値または階級値と呼ぶ。各階級の代表値は、階級の下限と上限の平均値（階級の真ん中の値）とすることが多い。ただし、総務省が公表している家計調査などの度数分布においては、各階級に含まれる個々の値の平均値を求めて、それを表示する場合もある。表 2.2 は表 2.1 のデータから作成した度数分布表である。

連続的な観測値の場合には、階級の境界に注意が必要である。日本では 250(kcal) 以上 300(kcal) 未満のように、階級の下限は含み、上限は含まない形の階級を考えることが多いが、海外では逆の場合もある。通常、エネルギー量は小数点以下を四捨五入して表現されているから、400(kcal) は 399.5(kcal) 以上 400.5(kcal) 未満となり、階級の境界は 0.5 だけが付けるが、多くの実例ではそれほど厳密な表記は用いられない。また、年齢について、たとえば 20 歳は、20 歳になった直後から 21 歳の誕生日を迎える直前までを意味するため、四捨五入とは言えない。

表 2.2 の度数分布表には、相対度数と累積相対度数も表示されている。相対度数は各階級の度数の全体に対する割合を表すもので、

$$\text{相対度数} = \frac{\text{階級の度数}}{\text{度数の合計}}$$

と求める。相対度数は、観測値の個数（データの大きさ）が異なる複数の集団を比較する場合に有効である。度数または相対度数を小さい階級から合計して得られる累積（相対）度数もよく用いられる。

表2.2の例では、累積相対度数は $3.1+0=3.1$, $3.1+6.3=9.4$, $9.4+9.4=18.8$ などとして求められる。これから 550(kcal) 未満は全体の約 41% であること、また約 75% は 600(kcal) 未満であることがわかる。累積度数分布については 2.4 節の解説も参照のこと。

度数分布表から、550(kcal) 以上 600(kcal) 未満の日が 11 日あり、相対度数からこのような日は全体の約 1/3 であることがわかる。また、その前後の階級も合わせて 500(kcal) 以上 650(kcal) 未満とすると全体の約 72% となり、多くの観測値がこの範囲に含まれていることがわかる。

§ 2.2 ヒストグラムと度数分布多角形

度数分布をグラフ化する方法の1つにヒストグラムがある。ヒストグラムでは横軸に変数の値を取り、それぞれの階級の区間に上に面積が度数と比例するように長方形を描く。特にすべての区間の幅が同一のときは、長方形の高さは度数に比例する。

図2.1は、32日間のエネルギー量をヒストグラムで表したものである。これから 650(kcal) 以上の日は1日だけであること、500(kcal) 未満の日は8日

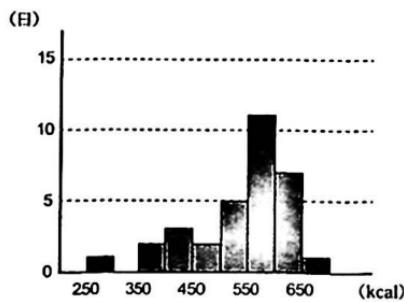


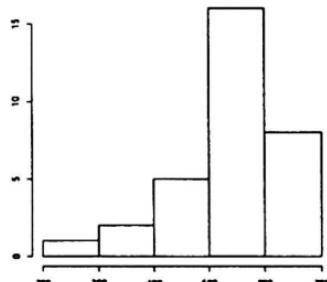
図2.1 エネルギー量のヒストグラム

あり、特にエネルギー量の低い日が1日あることなどがわかる。

例題 2.1 表 2.1 の学校給食のデータを使って、最初の階級の下限が 200(kcal), 階級幅が一定で 100(kcal) となるように階級を決めて、度数分布表を作りヒストグラムを描け。

(答)

階級 以上	未満	度数	相対度数 (%)
200 ~	300	1	3.1
300 ~	400	2	6.3
400 ~	500	5	15.7
500 ~	600	16	50.0
600 ~	700	8	25.0
合計		32	100.0



注：四捨五入の関係で合計は 101.0 となる。

最初の階級を 200(kcal) 以上 300(kcal) 未満として、それ以降についても同じように階級幅が 100(kcal) となるように階級をつくると、度数分布表とヒストグラムは上のようなになる。これを見ると、図 2.1 のヒストグラムのような不規則な変化はなくなって、度数は 500~600(kcal) の階級で最大となり、その両側の階級では次第に度数が小さくなっていく様子が読み取れる。

一般に、階級幅を小さくするとそれぞれの階級に入る度数が小さくなるため全体的な傾向がつかみにくくなり、階級幅を大きくすると、大きな傾向は見えるが細かな分布の形状を見つけにくくなる。そのため、データの大きさ n を考慮しながら、いくつかの度数分布表やヒストグラムを描いて、全体的な傾向を示すものを選択する。ほとんどのデータでは、階級の数は 5~15 程度が適当である。小さな n の場合は、階級の数は 5~10 程度が適当であるが、いくつか試してみて、適切な階級の数を決めることが望ましい。

ティータイム 階級幅の違うヒストグラム

下のヒストグラムは、総務省「家計調査」に基づいて世帯別の年間収入の分布を表したものである。このヒストグラムでは、金額によって階級の幅は異なっている。階級の幅が一定でないヒストグラムの場合に、長方形の高さを度数に比例させて描くと、階級幅の大きな階級ほど長方形が大きくなり、分布に関して誤った印象を与える。ヒストグラムでは、度数と長方形の面積が比例するように長方形の高さを設定する。階級幅が異なる場合には注意が必要である。この図の縦軸の目盛りは面積の合計が1になるように設定されている。

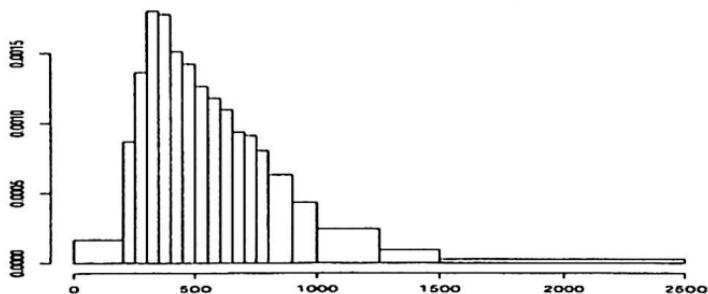


図 2.2 年間収入（単位万円），総務省「家計調査」2017年

§ 2.3 分布の特徴の把握

ヒストグラムを描く目的は、量的な変数の分布の特徴を把握することである。具体的には、分布の中心はどのあたりか、散らばりはどの程度の大きさか、全体として左右対称かあるいはどちらかのそそが長い分布か、などの特徴を知ることができる。

図 2.3 は、100 点満点試験の例である。平均点は A が 20 点、B が 50 点、C が 80 点と難易度が違っている。このような場合に、分布の形が異なること

が多い。A, Cを、それぞれ「右のすそが長い分布」、「左のすそが長い分布」と呼ぶこともある。

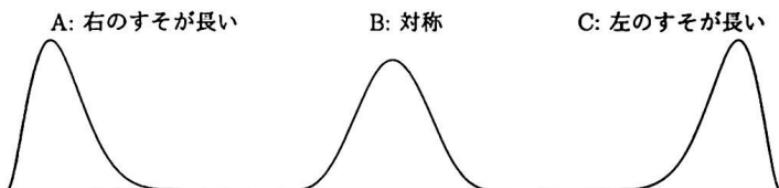


図 2.3 分布の形

図 2.4 は、東京都内のある大学の男子学生 324 人の身長のデータの分布である。このヒストグラムを見ると、172cm の近辺を中心にほぼ左右対称な分布をしている。身長のほかにも、胸囲、足の大きさなど左右対称なひと山の分布をする変数の例は多く、これらは 7 章で説明する正規分布に近い。

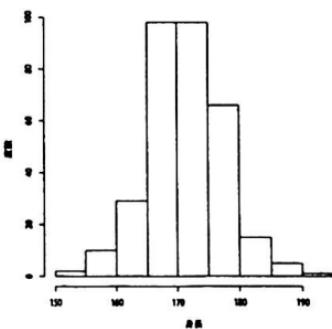


図 2.4 男子学生 324 人の身長の分布

しかし、すべての結果がこのように左右対称の分布をするわけではない。たとえば、2.2 節のティータイムで紹介した年間収入のデータは右のすそが非常に長い。

ひと山ではなく 2 つの山が見られる場合は、異なる集団の観測値が混在している可能性がある。たとえば、中学校 2 年のボール投げに関する図 2.5 の左（全体）は男女それぞれ 100 人をあわせた結果で、2 つの山が見える。しかし、男子と女子に分けると、1 つの山を持った分布となる。

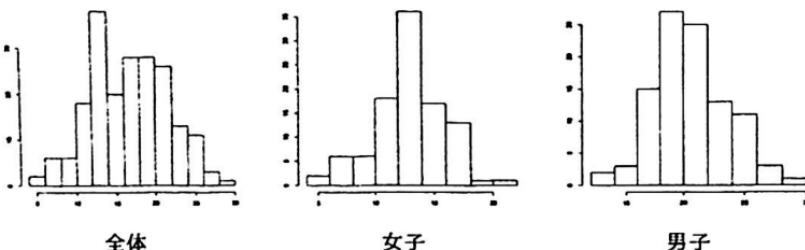


図 2.5 ポール投げ、中学 2 年生（2018 年文部科学省の調査に準じて作成）

データには、極端に小さいか、または極端に大きい観測値である外れ値が含まれることがある。たとえば、ある学級の小学生の体重のデータに、誤った先生の観測値が含まれるときに大きな外れ値が現れる。また、ある鉄道を利用する乗客数の日ごとのデータに、大きな事故があった日の観測値が含まれると小さな外れ値となる。教員の体重のように誤った観測値の場合は外れ値を除外すればよいが、乗客数の場合は小さな事故、中程度の事故など、判断が難しい。外れ値の判断と対応方法については 3.4 節で改めて触れる。

ヒストグラムや、2.6 節と 3.4 節で説明する箱ひげ図を描くことによって、さまざまな分布の特徴を把握することができる。このようなグラフによる視覚的な判断は重要であるが、それに加えて、分布の特徴を把握するため、いくつかの尺度が考えられている。これらのうち、四分位範囲については 2.5 節、平均値や中央値などの位置を表す尺度および標準偏差などの散らばりを表す尺度については、3 章で解説する。

§ 2.4 分位数と 5 数要約

この節では分布の形を表現する手法について、やや詳しく解説する。

分位数

グラフや表から大まかな情報は得られるが、正確な値を図表から読みとることは容易ではない。もう少し詳細に分布の形状を明らかにするために分位

数（または分位点）が用いられる。分位数とはデータを小さい方から大きさの順に並べ、データ全体をいくつかのグループに観測値の個数で等分した際の境界となる値である。データ全体を4等分した場合の四分位数（四分位点、または単に四分位とも呼ばれる）はよく使われる。

最初の境界値を第1四分位数 (Q_1 と表す)、次の境界値を第2四分位数 (Q_2 と表すこともあるが、3章で解説する中央値 M と等しい)、次の境界値を第3四分位数 (Q_3) と呼ぶ。4等分ではなく、データ全体を100等分する99個の点は第1百分位点から第99百分位点と呼ばれる。百分位点は1パーセント点、99パーセント点などと呼ばれることも多い。

累積度数分布

2.2節で説明したように、度数分布をグラフにしたものがヒストグラムであるが、累積（相対）度数分布をグラフにすると図2.6の上段の「長方形の上辺」の部分になる。この図は、下段のヒストグラムにある長方形を、対応する位置に記したものである。

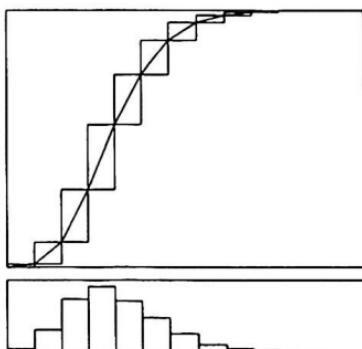


図2.6 ヒストグラムと累積度数分布（ n が小さい場合）

この図でわかるように、累積度数分布のグラフは、ヒストグラムの各階級の長方形の左下を、その前の階級の長方形の右上に重ねるように積み上げたものであり、階段状に変化する。

横軸の変数の値を x として、累積度数分布のグラフの高さを $F(x)$ と表すと、 $F(x)$ は「 x 以下となる観測値の度数（または相対度数）の合計はいくらか」という問い合わせに対する答えとなっている。図 2.6 は、観測値の個数（データの大きさ） n がそれほど大きくない場合の例であるが、このような場合には、累積度数分布は図に示した折れ線（長方形の対角線）で描くことが多い。折れ線は、各階級の中に等間隔で多数の観測値が出現しているとみなした場合に得られる $F(x)$ を与えていることになる。

ヒストグラムと累積度数分布との関係は、観測値の個数 n が非常に大きく、階級の幅が小さい場合にはより明確になり、図 2.7 のようになめらかなヒストグラム $f(x)$ が得られる。なお、この図では相対度数を表示している。

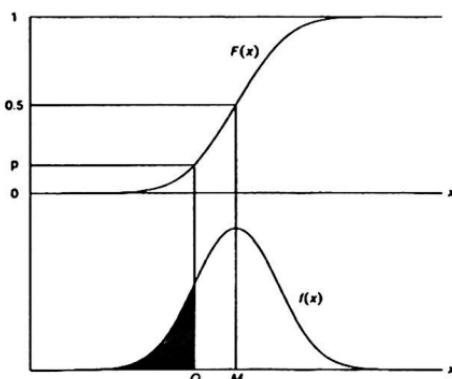


図 2.7 相対度数分布と累積相対度数分布の関係

ヒストグラムで影をつけた部分の面積は、観測値 x が $x \leq Q$ となる割合を表している。累積相対度数分布のグラフをヒストグラムの真上に描くと $F(Q) = p$ が影の部分の面積、すなわち割合を示すことになる。逆に図 2.7 の上段で縦軸を p とすると、 $F(x) = p$ となるような横軸の値は $x = Q$ なることが読み取れる。これが一般的な分位数（分位点）の定義である。たとえば $p = 0.2$ なら対応する Q は 20 パーセント点、 $p = 0.5$ なら対応する M は中央値である。

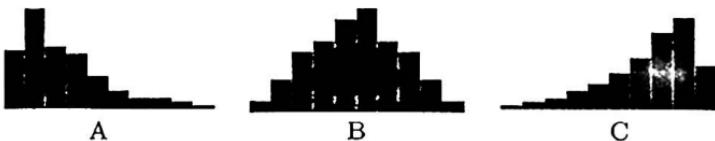
分位数を用いることで大まかな分布の形状を把握することができ、分布が左右対称か、あるいはどちらかのそそが長いかなどを知ることができる。たとえば、母子健康手帳のデータを集めれば乳幼児の身長や体重の上位5%，下位5%の値を知ることができる。政府の作成する統計として、総務省が実施する家計調査では、全国の世帯について所得の五分位数や十分位数の値が公表されており、世帯の所得分布の把握などに使われている。

分位数を計算する方法はいくつか提案されている。たとえば高等学校の教科書では、観測値を小さい順に並べ、まず中央値 M （すなわち第2四分位数）を求める。つぎに中央値より小さい部分のデータを考え、この部分の中央値を第1四分位数 Q_1 とし、同様に中央値より大きい部分の中央値を第3四分位数 Q_3 とする。上下2つの部分に分割する際、データの大きさ n が偶数なら明確であるが、奇数のときは、中央値を含めるか含めないかで微妙に異なる結果が生じる。分位数の求め方にはいくつかの異なる手法があるが、 n が大きいときは手法による差はほとんどないため、計算方法よりも意味を理解することが重要である。なお最小値、第1四分位数、第2四分位数（中央値）、第3四分位数、最大値の5つの数をまとめて、5数要約と呼び、分布の形状を判断するために用いられる。

左右対称に近い分布では M は Q_1 と Q_3 の真ん中にある。また多くの外れ値が存在しなければ5%点と95%点も中央値 M に関して対称に近い位置にある。逆に、もし $Q_3 - M$ が $M - Q_1$ よりも大きければ、右のそそが長いことが予想される。

例題 2.2 ある学校の生徒について、ある日の通学時間（分）を集計して、次の表の結果を得た。このデータの中央値はいくらか。またこのデータでヒストグラムを描いた場合、どのような形になるか、A, B, Cの中から最も適当なものを選べ。

最小値	7 分
第1四分位数	12 分
第2四分位数	18 分
平均値	25 分
第3四分位数	28 分
最大値	57 分



(答)

中央値 M は第2四分位数と同じもので、表から 18 分である。一方、第1四分位数 (Q_1) と M の差は 6 分、 M と第3四分位数 (Q_3) との差は 10 分となっていること、最小値と M の差は 11 分、 M と最大値の差は 39 分となっていることから、分布は左右対称ではなく、右のすそが長いと判断できる。これから 3 つのグラフのなかでは A のヒストグラムがこのデータの概形を示していると考えられる。なお、平均値は 25 分となり、中央値 M の 18 分よりもかなり大きいことも、この分布の形に関するヒントとなっている。平均値の定義および中央値との関係については 3 章で解説する。

§ 2.5 データの散らばり

あるファストフードチェーンの S サイズのドリンクは 150(ml) とポスターに書かれていた。このチェーン店の A 店と B 店の 2 店舗でそれぞれ 30 個を調べたところ、次の表 2.3 のデータが得られた。

表 2.3

	A 店 (ml)	B 店 (ml)
最小値	121	140
第 1 四分位数	138	146
第 2 四分位数	148	149
平均値	150	150
第 3 四分位数	164	153
最大値	182	156

平均値はいずれも 150(ml) であるがデータの散らばりの程度は異なっている。このような商品の場合、同様のサービスを提供するためには、散らばりの程度を小さくすることが望ましいであろう。

データの散らばり（あるいはばらつき）の程度を測る尺度はいくつか考えられる。そのうちの 1 つは、最大値と最小値の差として定義される範囲またはレンジであり、記号では R と書く。上記の A 店については最大値 182(ml)、最小値 121(ml) だから、範囲は $R = 182 - 121 = 61(\text{ml})$ である。

範囲は品質管理などで利用されるが、外れ値があると大きく影響される。そのため、安定的な散らばりの尺度としては、四分位範囲 (Inter Quartile Range, IQR) と呼ばれる $Q_3 - Q_1$ を用いることが多い。上記の A 店の四分位範囲は $IQR = 164 - 138 = 26(\text{ml})$ である。この尺度は、中央値に近い全体の半数の観測値を含む長さと考えることができる。データの中央に近い観測値は、外れ値の影響をほとんど受けないから、四分位範囲も比較的外れ値の影響を受けない。なお $IQR/2$ を四分位偏差と呼ぶことがある。

範囲と四分位範囲はいずれもその値が大きいほど観測値が散らばっていること、値が小さいほど狭い範囲に観測値が集まっていることを意味する。

例題 2.3 表 2.3 から B 店の範囲と四分位範囲を求め、A 店と B 店を比較せよ。

(答)

B 店の範囲は、 $R = 156 - 140 = 16(\text{ml})$ 、四分位範囲は $IQR = 153 - 146 = 7(\text{ml})$ 。A 店と B 店の範囲と四分位範囲を比較すると、両方とも B 店の方が

A店よりも小さく、商品の量の散らばりが小さい。

§ 2.6 箱ひげ図

ヒストグラムと同様に、分布を表現する手法に箱ひげ図と呼ばれるグラフがあり、詳しくは3.4節で解説する。最も簡単な箱ひげ図では、図2.8のように、ひげの端で最小値と最大値を、箱の両端で第1四分位数と第3四分位数を表す。ヒストグラムと同様の情報を表すものであるが、箱ひげ図を作成する作業は、ヒストグラムとくらべてはるかに簡単である。



図2.8 基本箱ひげ図

定義からひげの両端の間の長さが範囲を表し、箱の長さが四分位範囲を表す。左または右のすそが長い場合と対称な場合について、箱ひげ図とヒストグラムの対応は図2.9のようになる。なおp.46の箱ひげ図についての注意に記すように箱ひげ図は、複数の山をもつ分布の場合は、それらの山を表すことができない。複数の山を持つ分布は特殊であるが、そのようなデータの場合には注意が必要である。

並行（並列）箱ひげ図

2つの集団の所得についてその分布を比較する場合、ヒストグラムを上下に並べて描くことで、それぞれの集団の平均値・中央値などの違い、および散らばりの程度はある程度把握することができる。その際、2つのヒストグラムの横軸は同じ単位で上下をそろえるように描く必要がある。都市部と郡部の比較、20年前と最近の比較であれば、このようなグラフは有用である。

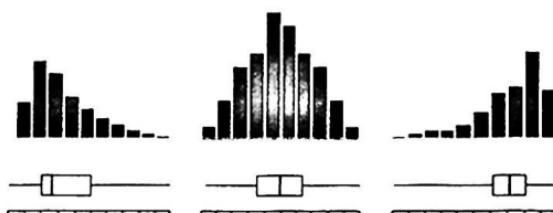
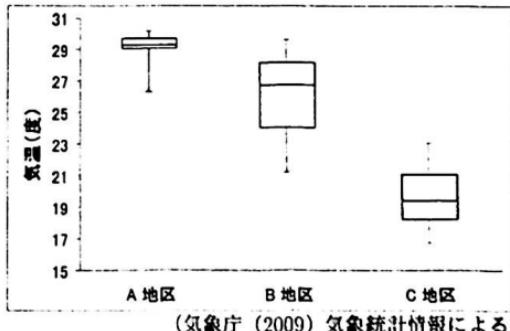


図 2.9 箱ひげ図とヒストグラム

しかし、小学校の児童について、身長や 50m 走などが、学年とともにどのように変化していくか、多数の分布を比較するためにヒストグラムを用いると、一覧性の点でやや無理がある。同様に、四季によって気温がどのように変化するかを見るために、1月から 12か月までのヒストグラム 12 個を、分布の違いが分かるように並べて表示することは容易ではない。このような場合に、箱ひげ図は有効な手法である。次の例題 2.4 のように、同じグラフに複数のデータの箱ひげ図を並べて描くことによって、多数の集団の比較が容易に行える。このように複数の箱ひげ図を同時に描いたものを並行（並列）箱ひげ図と呼ぶことがある。

例題 2.4 次の図は 2009 年 7 月の 3 つの地域の日平均気温のデータの箱ひげ図である。箱ひげ図から読みとれるそれぞれの地域の特徴を比較せよ。



(答)

A 地区は他の地区に比べて四分位範囲（箱の長さ）が非常に短い。これは気温の差があまりない日が半数程度あることを示している。B 地区と C 地区は A 地区とは大きく異なって、A 地区、B 地区、C 地区の順で中央値の値が小さくなっている。また B 地区の四分位範囲は C 地区の四分位範囲より若干大きいし、範囲（最大値と最小値の差）も同様である。

ティータイム ● 分位点の計算方法

2.4 節で解説した分位点の概念は n が大きいときには明確であるが、現実的なデータで n がそれほど大きくない場合には、分位点を求めるのに工夫が必要となる。すでに指摘したとおり、最も簡単と思われる中央値についてさえ、 n が偶数の場合と奇数の場合では違っている。箱ひげ図や幹葉図（幹葉表示）は、外れ値の影響が少ない実用的な手法として開発されたものである。したがって 3.4 節で紹介する通り、本来の箱ひげ図で用いられたヒンジ（四分位に相当する値）には簡易な計算法が用いられている。実用上は、ヒストグラムが滑らかとなる程度に n が大きければ、これらの手法はほとんど差がないので、それほど気にすることはない。

箱ひげ図についての注意

分布の基本的な情報をグラフ化したものが箱図 (boxplot) または箱ひげ図 (box-and-whisker plot) である。2.6 節で説明したものは基本箱ひげ (skeletal boxplot) と呼ばれ、図 2.8 のように Q_1 , M , Q_3 を表す箱から、最大値、最小値までひげを伸ばしたものである。これに対して 3.4 節で紹介するとおり、通常の箱ひげ図では、外れ値が表示される。

これまでに見たように、一般的な、山が 1 つだけである分布を要約するためには、箱ひげ図は便利な手法である。しかし、複数の山を持つ、特殊な分布の場合には注意が必要であり、このような特殊な分布では十分な情報を集約できないことがある。

山が 2 つある分布の有名な例として、図 2.10 にアメリカのイエローストーン国立公園にある間欠泉で観測された、噴出と噴出の間の時間（分）につい

てのヒストグラムと箱ひげ図を示す。

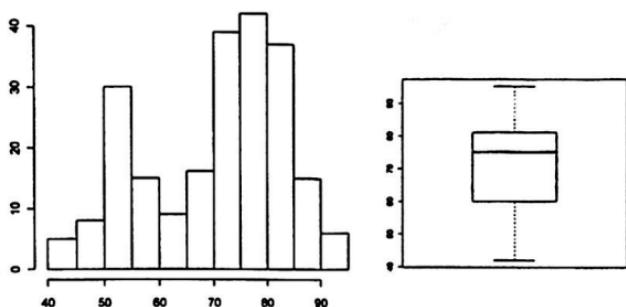


図 2.10 間欠泉の噴出間隔

この例では間欠泉の空洞内にためられた水が、噴出後にどの程度残っているかによって、2つのタイプがあることが知られている。ヒストグラムを見れば山が2つあることがわかるが、箱ひげ図では複数の山を表現することはできていない。