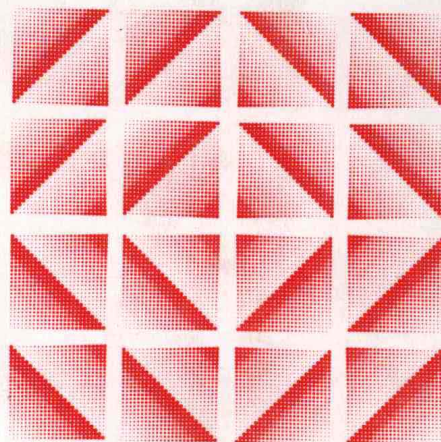


池田 央 著

調査と測定



池田 央 / 芝 祐順 編集

社会科学・行動科学のための
数学入門

4

新曜社

池田 央 著

調 査 と 測 定

池田 央／芝 祐順 編集

社会科学・行動科学のための
数学入門

4

新曜社

著者紹介

いけだ ひろし
池田 央

1932年 生まれる

1956年 東京大学教育学部卒業

1961年 同博士課程を経て

1965年 イリノイ大学博士課程卒業 Ph. D.

1965年～1979年 立教大学社会学部教授

現在 東京工業大学教育工学開発センター教授

主要著書 アドキンズ「試験問題のつくり方」日本文化科学社、
1970.

「統計調査のコンピュータ解析」東洋経済新報社、
1971.

「行動科学の方法」東大出版会、1971.

「テストⅡ」(心理学研究法8) 東大出版会、1973.

ローゼンサール&ロスノウ「行動研究法入門」新曜
社、1976.

「統計的方法Ⅰ基礎」新曜社、1976.

「テストで能力がわかるか」日本経済新聞社、1978.



社会科学・行動科学のための数学入門4

調査と測定

初版第1刷発行 昭和55年9月20日©

著者 池田 央

発行者 堀江 洪

発行所 株式会社 新曜社

東京都千代田区神田神保町2-10 多田ビル

電話(03)264-4973(代)・振替東京2-108464

印刷 秀峰美術社

製本 イマキ製本所

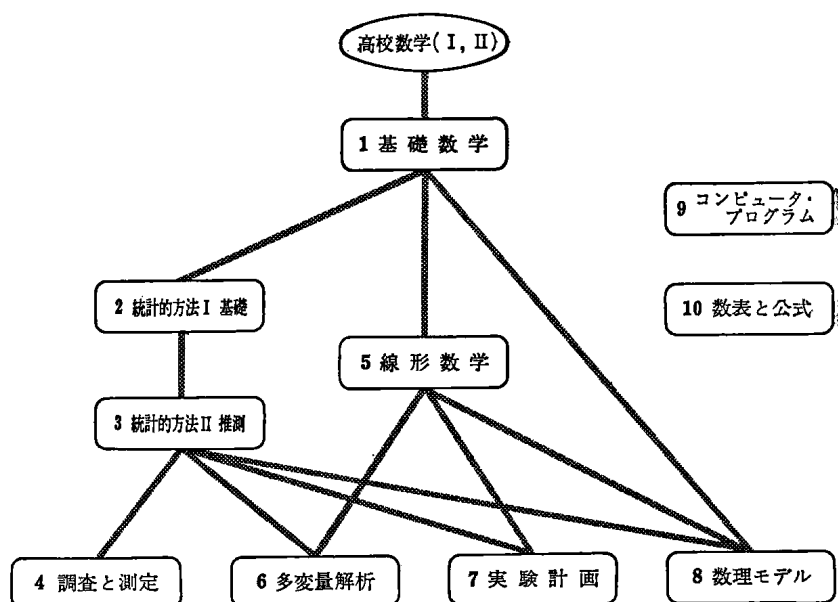
書籍コード 1041-4110-3329

編者まえがき

20～30年前までは、社会科学や人文科学の分野にこれほどまで数学的な方法が用いられるようになるとは、一般の人のもとより研究者自身もあまり考えていなかったことでしょう。しかし、いわゆる実証的経験科学を重んずる行動科学やコンピュータの登場にともなって、今日の社会科学や人文科学のかなりの部分がもはや数学的方法なしではやっていけなくなってきました。たとえば社会調査や心理学実験ひとつをとりあげても、研究計画の設計や集められたデータの解析には、統計学や確率の知識が必要になってきます。また、コンピュータのめざましい普及とともに、それを用いるためのプログラミングや線形数学の知識なしには、出力されたデータそのものの解釈すら満足にできないようになってきました。さらに数理社会学、数理心理学、数理言語学というように、自ら数理的な説明モデルを与えて現象解析に迫ろうとする理論分野もいちじるしく発展してきました。

このような一般的情勢を考えて、社会科学・人文科学（とくに行動科学）系の学生や研究者に役立つような形の基礎的学習書の不足を感じた編者たちは、ここに『社会科学・行動科学のための数学入門』を企画しました。これは心理学を中心とする行動科学研究者自身によって書かれた数学利用者のための入門書です。そこでは数学それ自身の解説というよりは、自らの経験から考えて、研究にこれだけは必要であろうと思われる数学的方法の基礎事項が初学者にもわかるように第一歩から書かれています。また、なるべくわれわれに関係の深い分野の練習問題を多くして、読者との親近感を高めるようにも工夫しました。

全体は10巻から構成されていますが、その間の相互の関連はおおよそ図のようになります。各巻はほぼ独立した小冊子に分れていますので、読者は必要に応じて自由に選択することも可能ですが、数学の学習には飛躍が禁物であると考えれば、この図を手がかりに計画だてて学習することもひとつの方法でしょう。そうすれば少なくとも今日社会科学や行動科学で活用されている数学的方法の全体像が理解されてくると思います。



諸外国に比べて、わが国での社会科学分野での教育体制の遅れが指摘されていますが、本シリーズがこうした方面の体系的学習にいくらかでも役立つならば幸いです。

1976年夏

編 者

まえがき

社会科学や行動科学を勉強するものにとって、調査法や測定法の基礎理論の学習は欠かせないものの一つである。しかし文科系学生を対象としてこれをどう説明するかは著者のいままでの経験からいっても非常にむずかしい。つまりそれは文科系の学生にとって、他科目との関連からしてなじみにくいものの一つだからである。

他に類書の少ないせいもあって、一冊の中に何を盛り込み何を捨てるかは頭の痛いところである。その取捨選択には著者自身の好みが強く反映していることも否めない。

本書の執筆にあたって著者のとった方針のいくつかをあげると次の通りである。

(1) 文科系の学生に対する数学入門という特長を保つため、数理的発想に慣れることを中心にして、意味の理解を助ける目的以外は、数学的証明はできるだけ省いた。

(2) 実際の研究の現場に直接役立つものというよりは、これからそのような仕事に入って行こうとする学生や関心をもつ研究者に入門的基礎的知識を与えることを目的とした。したがって扱う材料は比較的単純で教科書的なものにとどまっている。

(3) 調査や測定の実際では数学的理論以外に質問紙の作り方や面接技術などの実際的能力がより重要である。しかし、数学入門という本シリーズの趣旨からいって、それらはほとんど割愛せざるを得なかった。著者がその重要性を軽視しているわけでは決してない。

(4) 本書シリーズの他書と同じく、各章の終わりに練習問題を付した。中には、議論し考えることが目的で正解が一つに定まらないもの、大勢の共同作業ではじめて結果の得られるものなども含まれているが、可能な限り試みられることをおすすめする。

本書は全部で4章から構成されている。第1章は、測定の基礎として科学的研究の特質と、数量的記述に不可欠な構成概念や測定尺度の問題に触れた。社会科学における研究は多分に科学基礎論的考察を必要とするものである。ここではそれにあまり深入りしているわけではないが、いわゆる文科系学生が、測定論や調査論を学習する際に感ずる他の社会・人文科学科目との違和感は、こうした学問に対する基本的接し方のちがいによることも少なくないので、測定に必要な基本概念の解説と常識的な科学論をここで扱っている。さらに進んだ議論については巻末の参考文献などを利用されるとよい。

第2章では、古くから個体差の測定として発達してきた古典的テスト理論について触れている。社会科学の数量的研究で、測定尺度や指標を用いることが多いが、それはつねに測定の誤差（本当に測られるべきものが測られていないという）を含んだ不完全な量である。それにもかかわらず筆者のみるところ、そうした要素が正当に考慮されて扱われる例は非常に少ないように見受けられる。測定値の信頼性や妥当性の問題は、単に個体差測定を目的としたテストの領域にだけ限る話ではなく、誤差をとまなう社会科学・行動科学の測定一般で共通に必要な基本的問題であると思われる。またそれは因子分析や多変量解析などにデータをあてはめる以前に検討しておかなければならない（相関の希薄化問題など）多くの基礎的問題を含んでいる。

中には真値の変化をとまなう成長・発達モデルのように例書が少なく、著者が本章のために新たに展開した例もあるが、潜在特性モデルや多次元尺度構成法などの進んだ話は入門書の限度を越えるので省かざるを得なかった。

第3章ではサンプリング理論の基礎を扱っている。調査にサンプリングはつきものであるが、なかなか大学の限られた授業時間の中でその理論的基礎が教えられる機会は少ない。一方、いざ大規模な調査でそれを実行しようとしても、現実的制約が多すぎて教科書通りにはいかず、サンプリング理論が無力に思えることも少なくない。しかしだからといってその学習が無意味であるということにはならず、むしろ基礎知識を持たないまま実務に飛びこんで、調査とはそういうものだと思い込んでしまうのは危険であろう。また、サンプリング理論そのものは大がかりな社会調査に限らず、一学校内一企業内の小調査でも悉皆調査の手間を省くために利用することができるし、会計

監査や在庫調査のような人間を対象としない調査にも活用しがいがある。その意味で3章では簡単なモデル母集団からの抽出実験という形でその原理を理解してもらう方法をとった。ここで扱っているのはそうした簡単な実験的試行の課せられる例題に限り、比推定や回帰推定、あるいは2重抽出などの進んだ理論や実際の応用理論等には触れられていない。それについては、進んだ専門書にゆずることにしたい。

第4章は社会関係の測定として、最近興味をもたれつつあるグラフ理論の基礎と応用をとりあげた。もちろん、複雑な社会現象の説明モデルとしてはあまりに単純で、実用にはほど遠いかも知れないが、一つの可能性として興味あるテーマであるし、最近のアメリカの社会科学系の初等数学教科書にもグラフ理論とその応用が次第にとり入れられつつあるので、本書でも一章を用意することにした。また、社会移動や学習過程の分析によく応用されるマルコフ連鎖の話は、確率過程の問題として独立に詳述した方がよいのかも知れないが、スペースの関係もあって、グラフ理論の枠組の中で簡単に触れることにした。

このように本書では各章がそれぞれ独立したオムニバス形式でどの章から読まれても特に支障はない。各章の話題は可能ならばそれぞれ別個の成書の中で詳説されることがのぞましいかも知れないが、一応社会科学・行動科学のための数学シリーズの一冊として、とりまとめて入門的に扱うことにした。できあがったものをみると、著者がすでに他書で断片的に発表してきたものと内容の重複する部分も少なくないが、関連するトピックスが、教科書として一冊に集められたという意味で別の役割が果せられるなら幸いである。

最後に執筆が予定より大幅に遅れ、読者には多大の御迷惑をおかけしたことをおわびしたい。また最後まで忍耐強く脱稿を待ち、読みにくい原稿に手を入れて形あるものにして下さった新曜社の塩浦暲氏の努力に心から感謝する次第である。また細かい計算問題の数値解の検証などには東京工業大学博士課程大学院生の今泉忠氏のお世話になった。合わせて感謝の意を表したい。

1980年春

池田 央

目 次

1 章 測定の基本	1~48
1-1 科学と方法	1
1-2 研究のプロセス	4
1-2-1 発酵期	6
1-2-2 問題の定形化	7
1-2-3 変数の確定	8
1-2-4 対象の選定	8
1-2-5 モデルの設定	9
1-2-6 2つの世界の相互作用	11
1-3 概念と定義	13
1-3-1 構成概念と操作的概念	13
1-3-2 内包的定義と外延的定義	14
1-4 変数とその種類	15
1-4-1 定性的変数と定量的変数	16
1-4-2 独立変数と従属変数	18
1-4-3 潜在変数と顕在変数	19
1-5 関係の表示	20
1-5-1 関数関係	20
1-5-2 相関関係	21
1-5-3 因果関係	21
1-5-4 大小・順序関係	22
1-5-5 構造的関係	24
1-6 モデル	24
1-6-1 モデルの特質	24
1-6-2 物理モデル	25

1-6-3	言語モデル	26
1-6-4	図式モデル	26
1-6-5	数理モデル	27
1-7	測定とその種類	30
1-7-1	行動科学での測定	30
1-7-2	直接測定と間接測定	33
1-7-3	基本測定と誘導測定	35
1-8	測定の本質	37
1-8-1	測定の表現問題	37
1-8-2	尺度の水準	40
1-8-3	測定尺度と統計量	43
問 題		46
2 章	個体差の測定——テスト理論——	49~122
2-1	測定値の成り立ち	49
2-2	基本概念	55
2-2-1	測定の妥当性	55
2-2-2	測定の信頼性	58
2-2-3	測定の整合性	62
2-2-4	測定の比較可能性	65
2-3	測定モデル	74
2-3-1	測定値の成分	74
2-3-2	測定誤差	79
2-3-3	真値の回帰推定	80
2-3-4	相関の希薄化	82
2-4	合成得点と得点差	84
2-4-1	和の信頼性係数	84
2-4-2	差の信頼性係数	86
2-5	信頼性係数の推定	89

viii 目 次

2-5-1	α -係数とその意味	89
2-5-2	α -係数の表現式	91
2-6	変化量の測定モデル	97
2-6-1	学習・発達のモデル	98
2-6-2	忘却・疲労のモデル	101
2-6-3	成長・衰退の生涯モデル	103
2-7	集団の等質性と選出効果	107
2-7-1	信頼性に及ぼす影響	107
2-7-2	相関に及ぼす影響	108
2-8	測定値の等化問題	113
問 題		118
3 章	標本の抽出——サンプリング理論——	123~195
3-1	標本調査の基礎概念	123
3-1-1	標本抽出の重要性	123
3-1-2	確率標本と非確率標本	124
3-1-3	乱数列とランダム・サンプリング	126
3-1-4	母集団とその枠	132
3-1-5	主な確率抽出法	134
3-1-6	調査における誤差	141
3-2	単純無作為抽出法	142
3-2-1	記号	142
3-2-2	公式	143
3-2-3	抽出実験	145
3-2-4	標本分布	147
3-2-5	信頼区間	149
3-2-6	誤差分散の推定	151
3-2-7	必要標本数の推定	154
3-2-8	総量の推定	155

3-2-9 比率または総個数の推定	156
3-3 系統抽出法	161
3-3-1 記号	161
3-3-2 公式	162
3-3-3 抽出実験	162
3-3-4 標本値からの誤差分散の推定	166
3-4 層化抽出法	166
3-4-1 記号	167
3-4-2 公式	167
3-4-3 同数割当法	168
3-4-4 比例割当法	170
3-4-5 ネイマンの最適割当法	171
3-4-6 デミングの最適割当法	173
3-4-7 層別化の効果	175
3-5 2段抽出法	177
3-5-1 記号	178
3-5-2 公式	178
3-5-3 等確率副次抽出法	180
3-5-4 確率比例抽出法	182
3-5-5 副次抽出と確率比例抽出の比較	184
3-5-6 2段抽出の精度	185
3-5-7 m と $\bar{n}$ の配分	186
問 題	188

4 章 社会関係の測定——グラフ理論——……………196～261

4-1 グラフ理論	196
4-1-1 社会関係とグラフ	196
4-1-2 基本用語と定義	198
4-1-3 グラフの連結性	201

x 目 次

4-1-4	グラフの同型	204
4-1-5	有向グラフ	207
4-1-6	オイラー回路	210
4-1-7	ハミルトン回路	212
4-1-8	グラフと行列	213
4-2	コミュニケーション・グラフ	215
4-2-1	多段階コミュニケーション	216
4-2-2	冗長でない径路	219
4-3	確率的連鎖	223
4-3-1	マルコフ連鎖	223
4-3-2	吸収マルコフ連鎖	227
4-4	ソシオメトリー	231
4-4-1	ソシオグラムとソシオマトリックス	231
4-4-2	ソシオメトリック指数	233
4-4-3	クリークの摘出	237
4-5	符号グラフと均衡理論	240
4-5-1	符号グラフの正負	240
4-5-2	完全符号グラフ	243
4-6	優越支配関係	245
4-6-1	優越・支配行列	245
4-6-2	支配の一貫性	247
4-7	組織と地位	251
4-7-1	地位の定義	251
4-7-2	従地位と純地位	253
問 題		255
参考文献		263
問題解答		279
索 引		293

1 章 測定的基础

1-1 科学と方法

われわれが身のまわりの環境に接する仕方には、いく通りもの方法がある。自然を観て、“花鳥風月”を楽しみ、詩や句にその気持を託すのも一つの接し方である。その結晶は文学や芸術の所産となって開花し、われわれの文化を築いてきたのである。とくに東洋人、日本人はこれをこよなく愛してきたように思われる。そしてそのことはいつまでも大切にしていきたいと思う。

一方近代科学を生んだ西欧文化はまた別の接し方を見出してきた。飽くことのない人間の知的好奇心と知識収集欲は、われわれの漠然とした日常経験から飛躍して、それを組織的観察や実験という秩序だった帰納的手段に訴え、整理し体系化して、一つの科学的知識を築き上げていった。その成果は技術の進展と手をつないで、今日の科学文明を築いていったのである。今日、公害問題や環境破壊などその行き過ぎが批判されているとはいえ、科学技術はわれわれの生活をどんなにか豊かにしてきたことであろう。われわれは科学技術に弊害があればそれを科学技術によって防ごうとこそすれ、原始時代の人々の生活にもはや戻ろうとは思わないし、またそれは不可能である。

ただ、われわれはとかくこうした目にみえる科学技術の所産に目を奪われがちであるが、科学が見出した“知識”や“もの”と、それを生み出す原動力となった科学的“方法”とは厳然と区別して考えねばならない。“科学”という言葉のなかには、両者が混同されて使われることが多い。現代人にとって大切なのは、科学的知識よりもむしろその考え方・方法であろう。“知識”や“もの”は過去の遺産であり、われわれはそれを受け継ぎさえすれば済む

2 1章 測定の基礎

が、新しい知識を得たり未知や創造の世界へ挑戦するには“方法”を身につけ、実践することが必要だからである。とりわけ社会科学においては、その訓練がもっとも欠けているように思われる。

科学的方法という言葉からは、すぐ自然科学が連想され、社会科学はこれとは全く異質な原理の上に立っているように受けとられがちであるが、経験事実から正確な知識を汲み上げ体系化する方法として、科学の方法をとらえるなら、その論理的筋道のたて方において、社会科学と自然科学の間で本質的区別があるはずはない。

社会科学や行動諸科学で用いられる調査や測定のよって立つ原理はそうした自然科学的方法との連続性の上に成り立っていると解釈してよいだろう。その点はこれからのべる調査や測定の諸方法の原理や背景を考える上で重要な点と思われる。もちろんそこでは自然科学と全く同じような器械や測定器具が用いられるわけではないし、自然科学と同じような意味での厳密な条件設定をともなった大がかりな社会的実験が行われるわけでもない。人間を研究の対象とする以上、それにはおのずと倫理的な制約も限界も加わるであろう。したがって社会・行動科学の研究には、自然科学の研究にはみられないまた別の特殊性や困難さがともなうわけであるし、そのための独自の工夫も必要であるが、それがゆえに、自然科学と、社会・行動科学の方法の間に一線を画し、両者のよって立つべき基盤を全く別にしなければならないという理由はあるまい^{註)}。

注) 科学の一方の極に自然科学をおき、他方の極に社会科学・人文科学を含む精神諸科学(文化科学)において、精神科学を自然科学とは異なった独自の方法的基盤(たとえば了解的方法)の上にその存立価値を求めようとしたのは、ディルタイ(W. Dilthey, 1833—1911. 主著に『精神科学序説』)やリッケルト(H. Rickert, 1863—1936. 主著に『文化科学と自然科学』)の流れを汲むドイツ流哲学の伝統であった。わが国の社会科学が、こうした方法的二元論の影響を強く受けて発展したことは、経験科学を基盤とする社会科学の成立にとって大きなマイナスであったように思われる。古くから経験科学の伝統をもつ、アングロサクソン系の分析哲学者やブラグマティスト、それに同じヨーロッパ大陸でも、ナチスに追われて英米に渡ったユダヤ系学者を中心とする論理実証主義者たちは、社会科学と自然科学との非連続性を認めず、むしろ自然科学(なかんずく物理学)をモデルとして、社会科学を含む他の諸科学を共通の地盤

なお本書では、科学的研究 (scientific research) といってもそれは純粋科学研究ばかりでなく、かなり広い意味にとっている。それは妥当な推論によって、正確な知識を得るための探求行為とよんでおくのがよいかも知れない。よく科学的研究の目的は観察や実験によって、事実の間に存在する法則を発見し、科学的理論を打ち立てることにあると解釈されることがあるが、すべての研究が新しい法則の発見や新理論の建設にすぐさま結びつくわけではない。またそれを望んでも、実際に可能な場合は希にしかあるまい。

ただ、事実について正確な知識を獲得するということは、われわれが正しい判断をするために必要なことで、それを目的とするリサーチの必要性は今後ますます増大していくと思われる。変動の激しい現代社会にあっては、昨日の知識は今日には陳腐なものとなり、今日の正しい知識は明日にはもはや誤った知識であるかも知れない。たえず新しいしかも正確な知識を妥当な方法で探し求めること、そこに科学的な方法によるリサーチの必要性が生ずる。それはやはり未知の世界に対する一つの探求行為であって、人間の知的好奇心がつづく限り存続するものと思われる。その意味で、リサーチの技術とその背後にある推論の論理を身につけることは、経験科学にもとづく知識の獲得を志す人すべてにとって不可欠なことである。

なお付言するならば、リサーチによって正確な知識を得るといっても、ど

の上に築こうと試みた。そうした試みは1920～30年代から生まれてきたが、第二次大戦中の大がかりな軍事研究を背景として、1940年代の終わりがごろから、生物・自然科学と、社会・人文科学との境界領域にまたがる行動科学 (behavioral sciences) といった分野が定着してくるに及んで、いっそう確実なものになってきたように思われる。そして初期の物理学至上主義から脱皮して、それぞれの領域から独自の方法的技術的發展も期待されるようになってきた。本書で扱おうとしている調査や測定の問題は、そうした経験科学の土壌のなかから生まれてきたものであって、その前提を見失うと、著しく理解を困難にするとと思われる。文科系（これもしばしば理科系と対比していわれるのだが）の学生が折りにつけ混乱と困惑に陥りやすい原因の一つは、こうした出発点における発想の問題にも原因していると思われるので、あえてここで触れておくことにした。もちろん著者は人間の知的活動のあり方が唯一これに限るべきとは思わないし、別の学問のあり方を否定するつもりもないが、科学的研究法の“論理”は明確にしておくべきと考える。

4 1章 測定の基礎

のような事柄をどのような視点から取りあげるかということについては、全く研究者の判断と選択にゆだねられている。科学研究といえどもそれは全く人間的な活動であり、人間を離れた純粹無垢の研究はあり得ない。

科学的に妥当な方法とは、その論理の進め方、思考の筋道のたて方についていうのであって、どのようなテーマを選び、同じ結果に対してどのような解釈や意義をそこに見出すかは、研究者のおかれた環境条件やそのときの時代精神に左右されることが多い。その意味で科学の成果は、歴史的背景と現在に至る学問的価値観の変遷に裏打ちされた社会的所産であるといつてよい。

なお、ここでよくいわれる方法と技法の使い分けについて一言触れておきたい。方法 (method) という場合は広い意味で使われることが多いが、技法と対比して使われるとき、それは主に概念の構成や推論の筋道をたてる手続きもしくは研究の様式についていわれる。仮説演繹法とか帰納的方法とか、あるいは観察的方法とか実験的方法とかいう場合はそれにあたる。一方、技法 (technique) は研究を実行する場合の道具としての技術的側面を指すことが多く、標本のサンプリング技法とか、データ解析のプログラミング技法などがそれにあたる。方法論はあってもそれを実行可能にする技法 (術) をもたなければ研究は成就できない。社会科学が思弁科学から脱却するためには、技法を身につける必要がある。しかし、技法のみあっても、研究の指導原理となる方法をもたない行為は価値がない。軍事用語を用いて恐縮だが、方法は研究の“戦略” (strategy) に対応し、技法は“戦術” (tactics) に対応するといつてよいかも知れない。

1-2 研究のプロセス

科学研究 (scientific research) は図 1-1 のようなステップを踏んで行われる。その各ステップではそれぞれ以下のような点が問題になってくるであろう。したがって最初の企画設計時には、全体を見通した上で十分な検討が加えられる必要がある。

- (1) 問題の明確化と定形化……何を何の目的で研究するのか？ 知りたい情報や確かめたい知識は何か？ 解釈しなければならない目標課題は何