

科学的に 説明する技術

その仮説は本当に正しいか

福澤一吉

サイエンス・アイ新書

SoftBank Creat



science-i



サイエンス・アイ新書

SIS-040

<http://sciencei.sbcr.jp/>

か がく てき せつ めい ぎ じ ゅ つ
科学的に説明する技術
か せつ ほん とう た だ
その仮説は本当に正しいか

2007年10月24日 初版第1刷発行

著 者 ふくざわかずよし 福澤一吉
発 行 者 新田光敏
発 行 所 ソフトバンク クリエイティブ株式会社
 〒107-0052 東京都港区赤坂 4-13-13
 編集：サイエンス・アイ編集部
 03(5549)1138
 営業：03(5549)1201
装丁・組版 株式会社ビーワークス
印刷・製本 図書印刷株式会社

乱丁・落丁本が万が一ございましたら、小社営業部まで着払いにてご送付ください。送料
小社負担にてお取り替えいたします。本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写（コピ
ー）することは、かたくお断りいたします。



科学的に 説明する技術

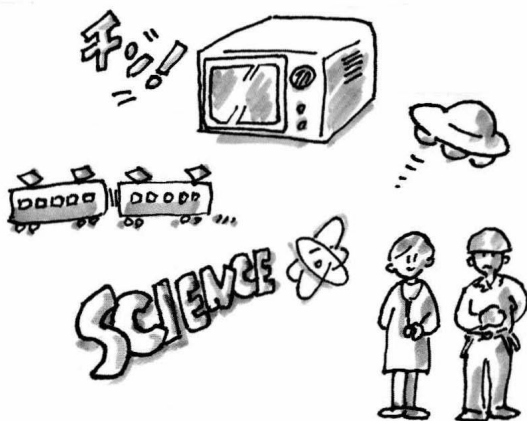
その仮説は本当に正しいか

アートディレクション・デザイン：近藤久博(近藤企画)
図・イラスト：近藤久博(近藤企画)

はじめに

いま、この本を手にとられた読者の方はすでに科学の恩恵を受けています。この本ができあがるまで、著者である私はかなり長い時間をかけてパソコンに本書の原稿を書き入れました。パソコンの存在は人間の科学的営みの成果であることは間違いありません。パソコンがなければ本書は書けなかったと考えるなら、この本は科学的な成果の恩恵を受けて書かれたことになります。ですから、この本を手にとられた読者の方も間接的には科学的な恩恵を受けているといえるでしょう。

科学の恩恵はあまりにも身近で、空気のような存在になりつつあります。私たちは毎日、携帯電話を使って人と連絡を取り、電子レンジで食品を温め、部屋に明かりをつけて、ビデオを見ています。これらはすべて電気工学、電子工学的知見がなければ実現しません。外出するにも電車やバスに乗り（電気・機械工学系）、病気になれば医者（医療も科学的成果に依存しています）にかかり、学校やオフィスの高層ビル（応用物理学、建築学）も気軽に使います。これらのことがらはすべて背景に科学的な営みを想定しないと成立しないものばかりです。



しかし、私たちの快適な生活が科学の恩恵であると実感できないのは、私たちが「科学的営みの結果としての成果」に触れることがあっても、その成果が出るまでにどんなプロセスがあったのかについて考えるチャンスを持つことがないからです。すなわち、科学における「プロセスなしの結果」だけにしか接触することがないため、科学的営みが実感されず、空気のような存在になっているのです。

本書は科学的成果についてではなく、科学的成果を出すまでに科学者はどんな思考、推論をし、科学的営みを実践しているのかを考えるものです。そのときに、科学的思考、推論をベタなままとらえるのではなく、それをちょっと突き放しながらながめることを目指しています。

科学的成果ではなくその成果にいたるプロセスを知ることには、大きく3つの目的があります。第一の目的はなん

科学的に説明する技術

その仮説は本当に正しいか

福澤
一吉

はじめに 3

第1章 科学マインドを理解する 9

ある中学の理科教室で／“科学マインド”を理解するためのウォーミングアップ／日常会話にみる“議論マインド”「論証とは何か？」／続・論証とは何か？／文に埋め込まれている論証を見つける／論証基本フォームを使う／話しても書いても論証は同じ／解答と解説／まとめとプラスアルファ／結論は根拠から飛躍して得られる／飛躍をどうやって埋めるのか？／論証を成立させる立役者／論拠の必要性・重要性／論証の妥当性（緩やかな意味で）／合理的な判断をする／論証は何のためにするのか？：理由の重要性／主張・結論は理由に取り囲まれている／結論は根拠より抽象的だ／具体的な経験的事実とより抽象的な論拠／経験的事実だけを理由とすることの限界／第1章のまとめ

第2章 日常議論から科学的な議論へ 55

日本人はなぜ英会話がよくできないか／日常議論から科学的な議論へ／科学とはどんな営



みか？／定義その1：観察すること（事象、現象、対象）／対象をどう見るか？／観察は主観的に決定される客観的事実？／自分はどこに注目して記述しているのか？／事象より主観的論拠が先だ／事実と事象の生物学的基礎／根拠の意味と論拠の関係／論拠によって決定される経験的事実の内容／ややこしいことを整理しておこう／対象を観察するときの工夫／ちょっとだけ科学哲学的に／知らないうちに自分が理論的になっていた？／観察する＝事象を特定して、絞り込み、単純にする／観察事象の単純化の例／サッチャーの錯視現象を絞り込む／定義その2：論理的ということ／狭義の論理（演繹的推論）／広義の論理（帰納的推論）／帰納的推論 v.s. 演繹的推論／定義その3：実証的ということ／実証の具体的手続き：相関と因果／実証の論理／定義その4：説明とは何か？／科学における説明とは／説明したいならその答えを先に用意せよ？／わかったつもりで出発するのが説明／第2章のまとめ

第3章 科学的説明の論理127 これはどうなっているのかな？ 実態調査型

研究／なぜ、そうなっているのかな？ 仮説
 検証型研究／実態調査型研究といえども…
 …／懐疑的思考をどこかで止める／仮説演繹
 法とは何か／実験に対する誤解／仮説は目に見えない対象についても予測する／仮説演繹
 法は推論上の誤りを含んでいる／誤った推論
 をなぜ使う？／演繹サンドイッチ／説明の原
 理が説明の対象に宿するという勘違い／第3章の
 まとめ

第4章 説明理論構築の実際とその検証 ……155

概論／議論における論拠の一貫性／日常の理
 由 v.s. 科学の理由／科学的対象の絞り込みと
 網羅性／理論的仮定の実際／仮定から仮説
 (予測)を導き出す／予測、仮説は本当に正し
 いかチェックする／実験の実施、実験の結果
 ／実験結果の解釈／理論的仮定のサイクル・
 リサイクルと現実／理論(仮定の集まり)
 を構築するときの条件／理論の論理性／理論
 の包括性／理論の単純性／第4章のまとめ

第5章 科学者の誠意とは何か？ ……185

概論／ボバーと反証主義／仮説を反証するの
 が科学の役目だ／ボバーと反証可能性／反証
 主義の問題点／勇気のある科学は自らの誤り
 を認める度量がある／何のために説明するの
 か？／第5章のまとめ

おわりに ……203

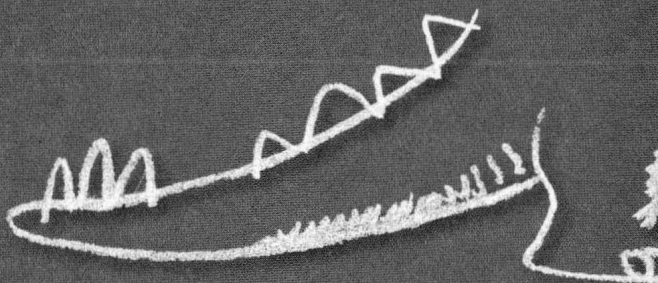
参考文献 ……204

索引 ……205

第1章

科学マインドを理解する

「なぜ、恐竜は
絶滅したの
かな？」



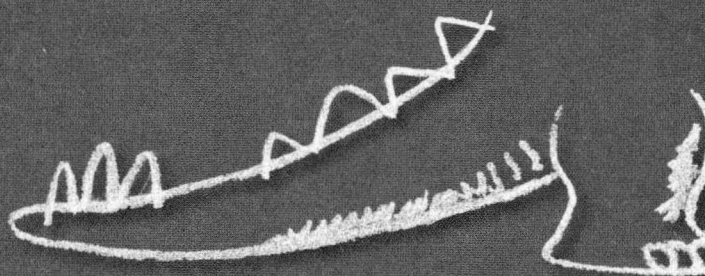
科学は、なぜ?と問いかけることが大切です。

まずは、私たちの日常的な考え方を知ることから始めましょう。

第1章

科学マインドを理解する

「なぜ、恐竜は
絶滅したの
かな？」



科学は、なぜ?と問いかけることが大切です。

まずは、私たちの日常的な考え方を知ることから始めましょう。

偉い人がいっているから、教科書に書いてあるからといって、それを正しいものとしてそのまま鵜呑みにしないこと、いわゆる懐疑的であることは、「科学とは何か」を考えるにあたって重要な基礎といえます。

「なぜ、恐竜は絶滅したのかな？」「地球温暖化のために夏が異常に暑くなっているっていうけど、なぜ地球温暖化が起こるのかな？」など、「なぜ、〇〇は、〇〇なんだろう？」と問いかけることが、まずはとても大切です。

たとえば、地球が自転しているのかどうかを知るには、地球自体の観察からはじめなくてはなりません。しかし、何をどう観察すればいいのかすら最初はわかりません。そのときは試行錯誤的にいろいろと考えてみるのです。考えつく中には、地球の自転に関係のないことも含まれるかもしれませんが、そんなことを気にする必要はありません。

右の例では、理科の先生が生徒たちに「地動説が誤っていた」というウソをつくことによって、生徒たちの信じていたことを揺さぶっています。そして、生徒たちに地動説を信じているのはなぜかを考えさせ、それを信じるなら自分でその証拠を集めることをうながしています。読者の皆さんは知識として地球の自転について知っていますが、誰からその事実を知らされない状態で地球の自転を証明しようすると、けっこう大変ですよ。

何かに関してそれを事実として知る手続きを「実証」といいますが、次のページに進む前に、生徒たちといっしょになって、地球が確かに自転していることを確かめるにはどうしたらいいかを考えてみてください。

地動説は誤っていた？（その1）

先生 今日は皆さんに、ちょっとショッキングなニュースがあります。実は最新号のネーチャー誌に、地動説は誤りで、やっぱり天動説が正しかったという研究報告が掲載されました。

A夫 ウッソー。何をいってんの？ 時代錯誤だよ。

先生 実は本当なんです。やっぱり地球は止まっていて、太陽が地球の周りを回っていたのです。

C子 や、やっぱり、地球は自転していますよ。

先生 自転してるって、どれくらいの速さで？

A夫 1日で1回転ですよ。

先生 地球の大きさはどれくらいかな？

C子 半径がだいたい6000キロくらいですね。

先生 地球表面の回転速度は、計算するとどれくらいかな？

A夫 直径1万2000キロ×3.14の距離を24時間で動く……。

B介 時速1570キロ、えっ、それじゃ音速だね。

先生 でしょ、そんなに速く動いているとしたら、地面に立っていないはずがないじゃないか！

C子 やっぱり、天動説が正しいのかな？

先生 そもそも、君たちはなぜ地動説を信じているんだい？ 自分で地球が動いていることを確かめたことがあるのかい？

A夫 ありません。



この先生と生徒のやり取りには、科学的な考え方を理解するうえで重要な発言が含まれています。たとえば、「単に、誰かから聞いたことや、本で読んだことを信じているだけだよね」という発言には、いろいろなことについて懐疑的であれというメッセージがこめられています。

また、「太陽が毎朝出てくる位置は少しずつ変化する。だから、地球は動いている」というように、まずは観察に基づく何らかの事実、または根拠(太陽が毎朝出てくる位置は少しずつ変化する)を用意し、そこからある結論(地球は動いている)を導いています。根拠を前提に何らかの結論を導くことを「論証」といいます。科学的議論をする際には、いろいろな論証の組み合わせが必要になります。

さらに、「地球が動いていると考える場合を想定しておいて、地球が動いているならこうなる、ああなると予測をしてみるやり方もあるね」という考え方には、科学的考え方のエッセンスがこめられています。「地球が動いていると考える場合を想定する」のは「仮説」と呼ばれるものです。その仮説から「地球が動いているならこうなる、ああなる」という予測を導きます(これを「^{えんえき}演繹」といいます)。それについて実験、観察、調査などで証明する方法を科学は使っています。

科学は人間の知を生み出す原動力になっています。科学を探究することによって、知の誕生に立ち会うことができるのです。これはとてもエキサイティングな体験です。読者の皆さんも「地動説は誤っていた」とつげられた中学生の心境に一度立ち返り、「地動説がやっぱり正しかった」という結論にいたる道のりを歩いてみましょう。

地動説は誤っていた？（その2）

先生 みんな、単に、誰かから聞いたことや、本で読んだことを信じているだけだよな。

A夫 どうやれば、地球が動いているってわかるのかな？

先生 そうそう、そこだよ。地球に住んでいて、それが動いているということを知るにはどうしたらいい？

C子 でも、どうやればいいのかな？

先生 毎日生活していて、地球が動いているという感じはないよね。でも地球が動いていることを想定しないと説明しにくい自然現象ってない？ 毎日早く起きていれば誰でも気がつくかもね……。

A夫 ひょっとして、太陽が出てくる場所かな？ 太陽が毎朝出てくる位置は少しずつ変化する。だから、地球は動いている。でも、太陽が動いても同じ現象が起こるよね。

先生 いいところに気がついたね。太陽って毎朝観察していると、出てくる場所が少しずつ変わっていくのがわかるよね。これは何かのヒントになるね。

A夫 そうか。地球が動いていると考える場合を想定しておいて、地球が動いているならこうなる、ああなると予測をしてみるやり方もあるね。

先生 GOOD IDEA！ それを実験で証明できるといいね。

B介 1年間でみると季節が変化しますね？ これも手がかりかな？

先生 そうそう、そんな具合にしていねいに観察を続けて、いくつも事実を集めると、動いているのは太陽じゃなくて、地球のほうだということが証明できるかもしれないよ。



“科学マインド”を理解するための ウォーミングアップ



この章では、科学的な説明とはどんなものであるかを知るにあたり、その基礎となる考え方についてお話をします。キーワードは先ほどの先生と生徒の会話に出てきた「論証」です。ちょっと硬い言葉に聞こえるかもしれませんが、私たちがものを考えるときに常に使っているもので、実はとても身近なものです。

ここで論証について皆さんにお話ししたい理由を述べておきます。私たちは日常的に議論したり、話したりする場合、科学的に考えているわけではありません。そこで、科学的なものの考え方を知るには、まず私たちがしている「科学的ではない考え方」について知っておきたいのです。そうすることによって、私たちの一般的な考え方と科学的な考え方の対比が可能となります。言い換えるなら、まだよくわからない科学的な考え方を、すでによく知っているはずの私たちの考え方を背景にしながら理解を深めようというわけです。このときに、論証の理解がとても役に立つのです。

いま、「すでによく知っているはずの私たちの考え方」という言い方をしましたが、問題は、自分たちの考え方なり考えの構造がどうなっているかを、どれくらい理解しているかということです。これからお話しする論証について読み進めると、意外に、すでによく知っているはずの自分の考えもうまくつかめていないことに気がつくかもしれません。科学を知るためには、まず自分の、そして自分を取り巻くまわりの人たちがどう考えているのかについてじっくり見ていくことが大事です。これからしばらくは、自分の考え方を再発見する体験をしていただきたいと思います。意外な発見があるかもしれませんよ。

■ わからないものを理解する

理解に使う基本モデルの1つ

