



「いのち」のシステムの本質は多様性にある
==物理学のシステムと異なるその特異性==

塚谷 裕一(理学系研究科・生物科学専攻)

東京大学・学術俯瞰講義2009年4月8日

※:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

古く、人々の思考方法は神学や哲学に頼っていた。

やがて物理学が現れ、自然科学の思考法の規範となっていくた。

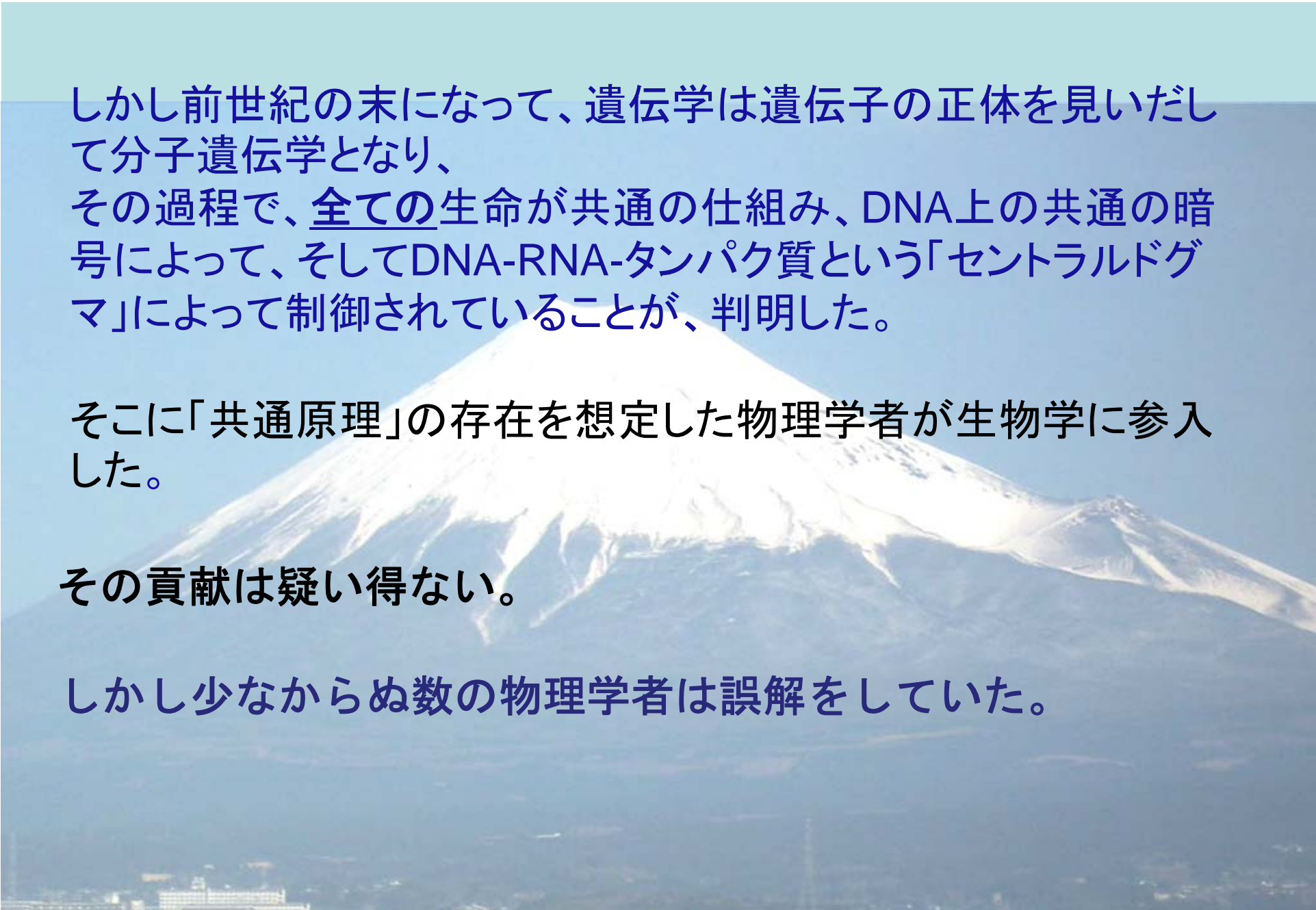
物理学の一部の分野では、絶対真理の存在を仮定している。
森羅万象がすべて、その唯一絶対の真理から自ずと生まれるとする
考え方である。

生物学にはかたや、唯一絶対の共通原理がなく、枚举主
義に過ぎない、と蔑まされるくらいすらあった。

唯一の「基本原理」とされたのが、「遺伝の法則」である。

しかしこれは、遺伝子が離散型の因子であると仮定するだけで自然
と導かれる性質に過ぎず、物理や化学で言うところの いわゆる
「法則」とは性質が異なる、下位の概念とされた。

生物学は、物理学や化学と比べ、一般性、原理性に欠く未熟な、発
展途上の学問とされてきたのである。



しかし前世紀の末になって、遺伝学は遺伝子の正体を見いだして分子遺伝学となり、その過程で、全ての生命が共通の仕組み、DNA上の共通の暗号によって、そしてDNA-RNA-タンパク質という「セントラルドグマ」によって制御されていることが、判明した。

そこに「共通原理」の存在を想定した物理学者が生物学に参入した。

その貢献は疑い得ない。

しかし少なからぬ数の物理学者は誤解をしていた。

生物にも、確固とした共通原理があり、それから全てが生まれるという誤解である。

その誤解は、遺伝暗号であるDNAの構造を推定する際にも、またその暗号の仕組みを推定する際にも見られた。

何人かの物理学者は、こう考えた。

「遺伝は何百年もの間、安定的に伝わる点がその特質で、エントロピーの増大に抗して秩序から秩序を生むシステムだ。」

それがDNAからタンパク質に「翻訳」されるにはどうあるべきか。著名な物理学者のジョージ・ガモフは、やはり一流の物理学者のデルブリュックやファインマンなど物理畑の先鋭の研究者たちと、理論的な研究をした。

しかし彼等のたくさんの仮説は、ほとんど全ての的はずれだった。遺伝の暗号の読み取られ方については、結局、生物学者の行なった「生もの」実験によって解明されていった。

何がいけなかったのだろうか？

物理学と生物学とは、そんなにも違うのだろうか。

一方生物学の方でも、分子遺伝学の勃興を期に、従来の「枚挙主義」とは逆に、特定の「モデル生物」に研究を集中させるというスタイルが主流となった。

さらにその一方、モデル生物についての研究成果を受けて、後追いの形ながら、逆にまた個々の個性、多様性に目を向ける研究も盛んとなってきた。

では生物学にとって、個性、多様性の意味は何か。
枚挙生物学は本当に科学として未熟なのか。

本俯瞰講義への導入として、以上の二点について、取り上げ考えてみよう。

まずなぜモデル生物なのか？モデル生物とは何か？

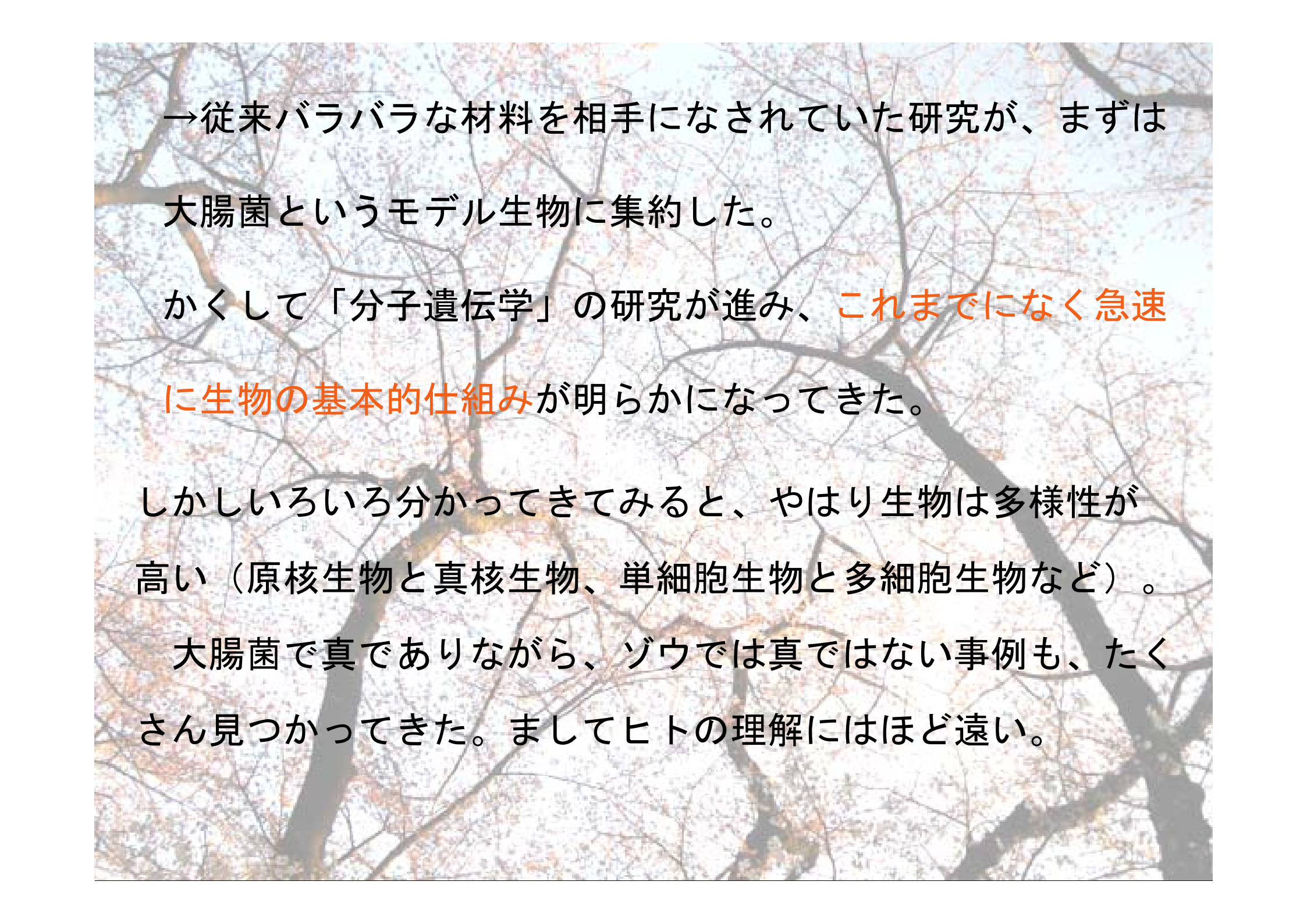
→生物学は博物学を自己否定し、化学や物理学と同じような、法則性の追求を目指してきた。（“統一原理”）

→その成果が分子遺伝学であった。

（あらゆる生物に共通のメカニズムの発見：遺伝子暗号、

→セントラルドグマ：DNA→RNA→タンパク）

「大腸菌で真なら、ゾウでも真」



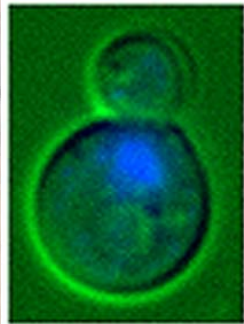
→従来バラバラな材料を相手になされていた研究が、まずは大腸菌というモデル生物に集約した。

かくして「分子遺伝学」の研究が進み、**これまでになく急速に生物の基本的仕組み**が明らかになってきた。

しかしいろいろ分かってきてみると、やはり生物は多様性が高い（原核生物と真核生物、単細胞生物と多細胞生物など）。

大腸菌で真でありながら、ゾウでは真ではない事例も、たくさん見つかってきた。ましてヒトの理解にはほど遠い。

そこで次善の策として各生物群に代表的な「モデル」を設定し、
各生物群に共通する統一メカニズムを知ろうとした。

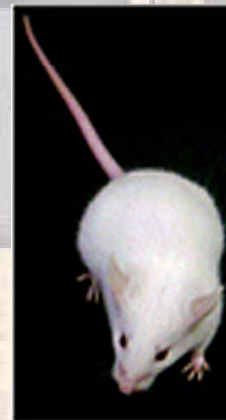


真核生物のモデル

植物のモデル



節足動物のモデル



哺乳類のモデル



例えばモデル植物のシロイヌナズナ

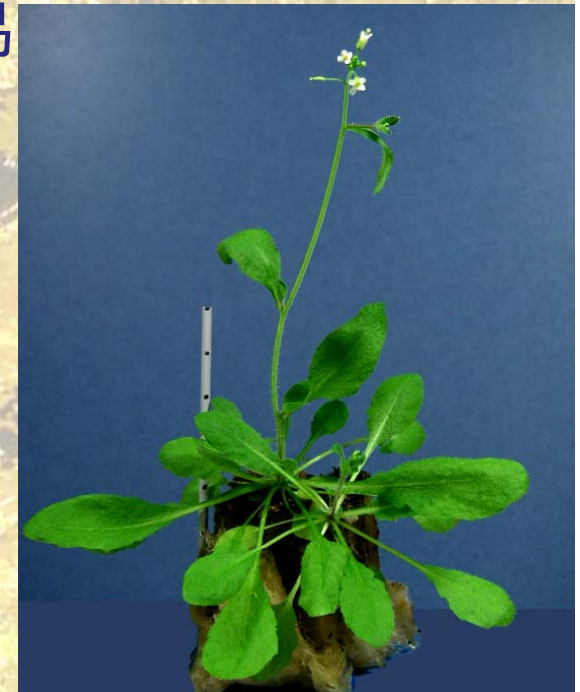


シロイヌナズナのモデル系としての利点：

- ・ 植物体が小型で、室内での均質栽培が容易
- ・ ゲノムサイズが既知のものとして最小。
- ・ 栽培が容易、室内の蛍光灯下で栽培可能。
- ・ ライフサイクルが短い（1ヶ月半程度）。
- ・ 自家受精するので、遺伝学的解析が容易。

その結果：

- ・ ゲノム解読がすでに終了。
（1億3000万塩基対：既知のものとして最小）
- ・ 国際協力体制が整っている。
（ストックセンター、ウェブサイトの整備、
国際会議の毎年開催）
- ・ 急速な研究人口の増加と研究の進展。



かくしてシロイヌナズナはあらゆる植物の中で最も理解の進んだ植物となった。

・例えば：花芽形成の仕組みについては、シロイヌナズナは非常に短い研究の歴史しかない。そのため、ほんの十数年前には、それまで綿々と花芽形成の研究に使われてきたアサガオなどに比べ、研究に非常に不利な材料と考える人も多かった。

しかし蓋を開けてみれば・・・

モデル植物として研究が集中することのメリットは、歴史の浅さなど簡単に乗り越えた。花芽形成の仕組みについては今や、シロイヌナズナで分かっていることに比べて、アサガオについては、ほとんど何も分かっていない、とまでいえるほどである。

しかしシロイヌナズナ も万能ではない。

モデル生物としてのシロイヌナズナの歴史と利点、それとともにその限界（シロイヌナズナでは分からないこと、シロイヌナズナでしか通用しない知見など）については、右の＜読む教科書＞を参照されたい。

しかしシロイヌナズナだけ知っていても、植物が分かったことにはならない、というのが本書の眼目。

変わる植物学 広がる植物学

モデル植物の誕生

塚谷裕一——〔著〕

東京大学出版会



シロイヌナズナを知らずして 植物学は語れない！

この10年、植物学の現場で何が起きているのか？

東京大学出版会

※『変わる植物学 広がる植物学』 塚谷裕一 東京大学出版会

生命現象のそれぞれについて、モデル生物を使った研究から詳細な仕組みが分かってくればくるほど、生物は分類群ごとに、あるいはそれどころか個体ごとに、それぞれに固有の特徴を持っていることがますます浮き彫りとなってきた。

また逆に、どの「モデル種」でも、その種類やその近縁分類群にしかない独特の「癖」を持つことが明らかとなってきた。どんな生物にとっても統一的な、基本システムだけでできているような生き物などは、いないのである。

このように、生物はその多様性こそが本質である以上、どれか研究に使いやすい「モデル生物」を設定した場合でも、そこで見られる現象が、生物の基本だと早とちりしてはいけない。

所詮、そのモデル種も、生物全体からすればいろいろな点で「変わり者」であり、種に特有の性質を持っているからである。

→かくしてシロイヌナズナは植物のモデルから、種子植物のモデルへ、そして真正双子葉植物のモデルへ、と「格下げ」。

モデル生物種の増加→

「イネ科植物のモデル」＝イネ、

「マメ科植物のモデル」＝ミヤコグサ、

「蘚類のモデル」＝ヒメツリガネゴケ

「苔類のモデル」＝ゼニゴケ

などなど、各種モデルが続々と設定され、
これら全てについて、ゲノム解析が進められるようになった。



ミヤコグサ：本草図譜から

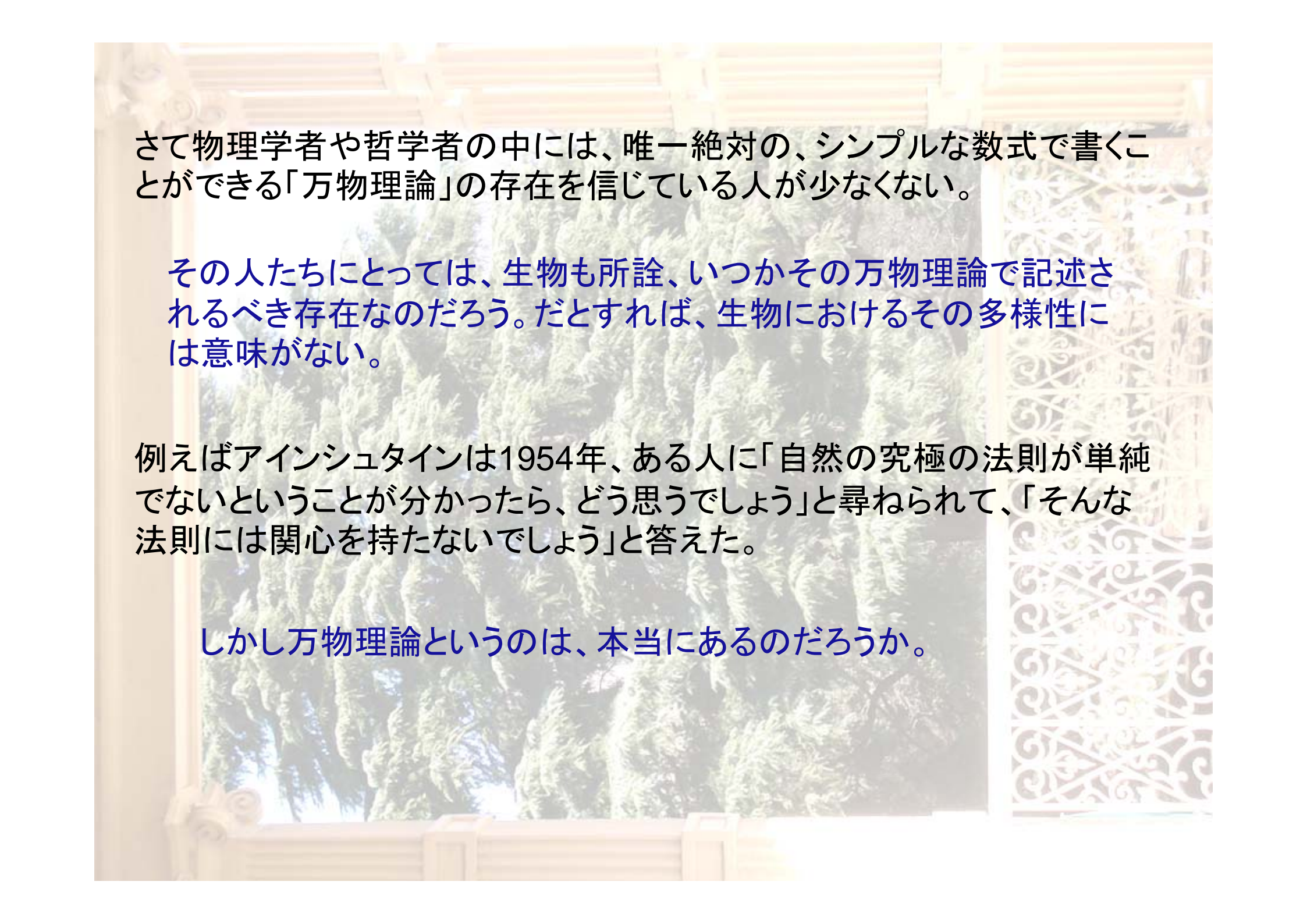
モデル生物研究の近未来像：

テクノロジーが発展し、特定の生物種のゲノム全配列決定にかかる時間がより短く、費用もより安くなってきている現在、あらゆる生物のゲノム解析もあり得るようになってきた。

．．．＜枚挙主義＞の復活か。

一方、先行するモデル種では、コンピュータ上へのバーチャル生物構築の試みなど、抽象化や遺伝子ネットワークの解明も進められている。

多様性の科学＝博物学の“復権”

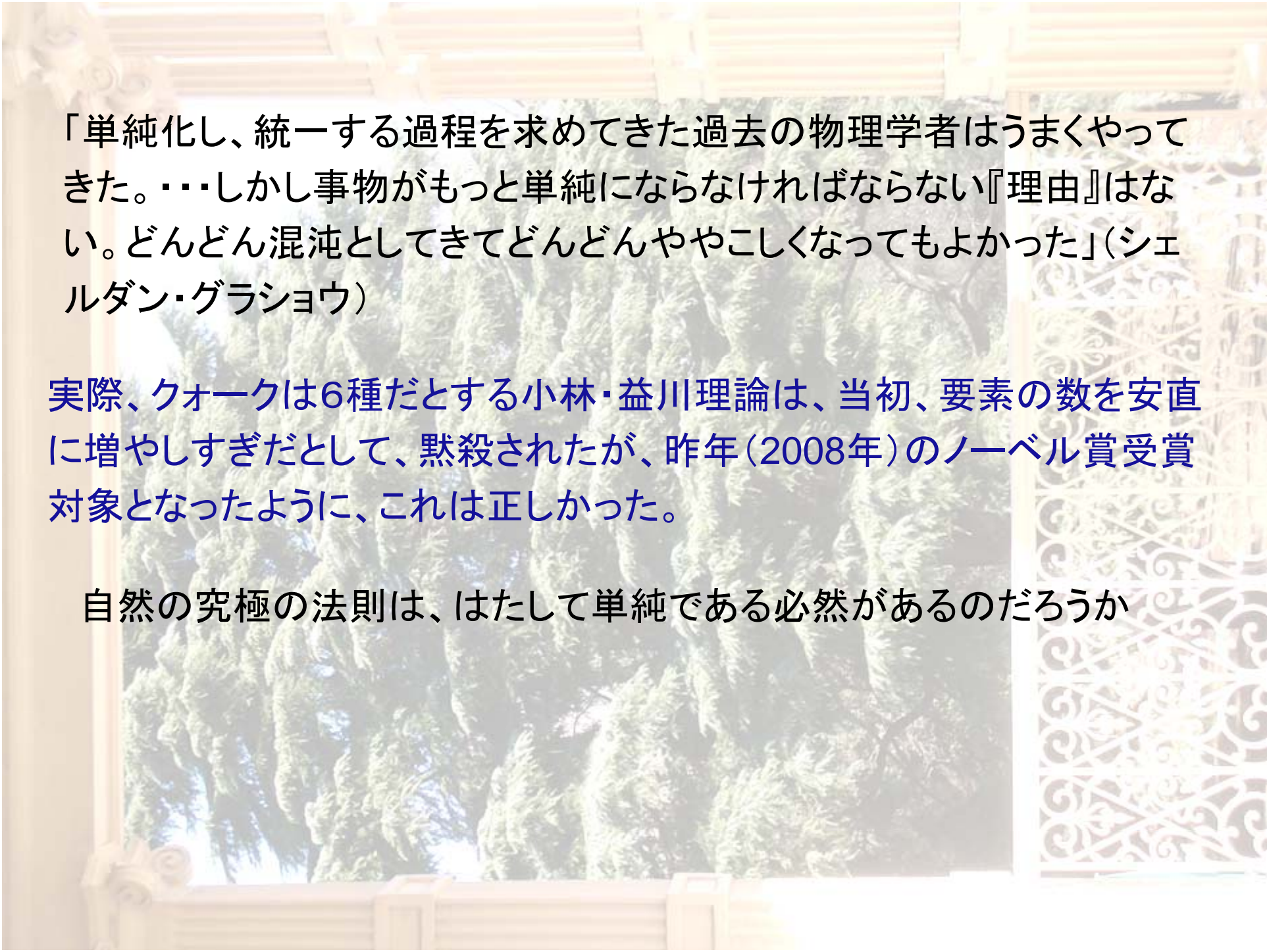


さて物理学者や哲学者の中には、唯一絶対の、シンプルな数式で書くことができる「万物理論」の存在を信じている人が少なくない。

その人たちにとっては、生物も所詮、いつかその万物理論で記述されるべき存在なのだろう。だとすれば、生物におけるその多様性には意味がない。

例えばアインシュタインは1954年、ある人に「自然の究極の法則が単純でないということが分かったら、どう思うでしょう」と尋ねられて、「そんな法則には関心を持たないでしょう」と答えた。

しかし万物理論というのは、本当にあるのだろうか。



「単純化し、統一する過程を求めてきた過去の物理学者はうまくやってきた。・・・しかし事物がもっと単純にならないといけない『理由』はない。どんどん混沌としてきてどんどんややこしくなってもよかった」(シェルドン・グラショウ)

実際、クォークは6種だとする小林・益川理論は、当初、要素の数を安直に増やしすぎだとして、黙殺されたが、昨年(2008年)のノーベル賞受賞対象となったように、これは正しかった。

自然の究極の法則は、はたして単純である必然があるのだろうか

宇宙については、物理定数が、あまりにヒトの存在を可能とするのに都合がよいものばかりであることから、以前、物理学では、これを可能とするために世界はできている、というような「人間原理」的な考えも流布した。

が、最近では、宇宙は1つではなく多種多様であり、たまたま(偶然)私たちの住む宇宙がそういう性質を持っているだけである、とする考えも強くなってきた。

この「多種多様さ」「偶然性」は、生物学にとって、ごく自然な考え方であるが、物理学者や哲学者の中には、どうもこれになじめない人がいるらしい。

ちなみにこうした「万物理論」の考え方、「人間原理」の考え方が極限までいくと、SF小説『万物理論』(グレッグ・イーガン作、山岸真訳)のような世界が生まれる。



またよく考えてみれば分かるように、唯一絶対の「万物理論」は、ちょっとした思考のすげ替えをするだけで、絶対神に取り変わる危険性がある。物理学出身者に、某教のような怪しい 宗教にのめり込んでしまったインテリが多かったのも、そうしたことからだろう。

また物理学者の中には、「西洋科学は行き詰まっている。これからは東洋哲学を取り入れた新しい科学も必要だ」と主張する人もいる(決してトンデモ学者ではありませんよ。れっきとした、日本でその学問分野を代表するようなベテラン物理学者です)。

でもそれは、生物学者から見れば、誤解に過ぎない。それまでその先生がやってきた「科学」が宗教のようなものだったに過ぎず、これからその先生が目指すとしている方向こそが、昔から生物学者が追求してきた、本当の科学なのである。

しかし意外にその点は、一般の間でも知られていないようだ。
先の朝日新聞にもこんな記事が出ていた・・・。

朝日新聞2009年2月8日、朝刊書評欄

宇宙論入門 佐藤勝彦著
宇宙はなぜ、こんななのか
2009年2月8日 朝日新聞朝刊書評欄

実はこの書評で取り上げられている佐藤勝彦先生（東大名誉教授）は以前、「生物学者の科学と私たちの科学は違うようだ」と語ったことがある。（日経サイエンス2004年4月号）

佐藤 答えになっているかどうかわかりませんが、科学でも専門分野によってずいぶんカルチャーが違うものだと感じた経験があります。

瀬名 それは、どんなとにき？

佐藤 ある科学博物館の設立準備の会議に呼ばれたとき、科学論的な話題になったことがあります。そこで私が「宇宙の謎を解き明かす真理を探求している」という話をしたら、生物の方が「真理なんてものは存在しない。我々はあくまでも自然のメカニズムや機構を調べているにすぎない」と言うんです。真理などと口に出して言うのはエセ科学だと言わんばかりだったので、とても驚いた経験があります。

佐藤 でも、私たち物理学者は実に単純に信じています。この世界には真理があつて、その法則に従って世界は動いているという信念です。もちろん究極の真理がわかれば、それで世界のすべてがわかるなんて思っているわけではありません。

宇宙論で言えば、物理法則は縦糸みたいなもので、横糸として量子論的ゆらぎやカオスなどさまざまな数理的な現象が組み込まれています。まさに必然と偶然のゆらぎの中でこの面白い世界が出現している。でも、やっぱりこの世界には真理があつて、それを知ることによって世界を認識できると思っています。それが理論物理学者なんです。

さらにちなみに哲学者の中にも、
「偶然性」や「進化」にはなじめない人があるようだ。

「」でもまた議論が沸騰するのだが、
結論的に言えば、たまたまサーカディア
ンリズムの反応があつて、それが他のリ
ズムより生体にとって都合がよかったの
で生き残ったのでしよう、と。もちろん
こう答えないとしたら、たんぱく質なり
シアノバクテリアなりが、地球の自転を
何らかの方法で感知していると仮定し
ないわけにはいかななくなるという事情は
よく分かるのだが、わたしの脳はどこか
で納得していなくて「？」の信号が明滅
している。

「結果としての進化」の論理はどうも思
考を停止させてしまう傾向がある。

（小林康夫『UTOオデュッセイア』

UP誌二〇〇八年九月号）

小林氏は東京大学大学院総合文化研究科・
教養学部 超域文化科学専攻の教授（表象文化論）

では、ここで論より証拠。多様性を実感してみよう

そもそも人類のような複雑な生命が生まれたのも、生物が多様性を産むシステムに乗っているからである。そうでなかったならば、生物は初期生命のまま、バクテリア段階のままでとどまっていたはずである。それが進化というものだ。

今回の学術俯瞰講義で最初に「概観」していくゲノムの複雑さたるや、その多様性の背景にある「偶然による進化」そのものを反映するものである。

また続いて見ていく細胞の情報システムもまた、単一の「原理」から導かれるような必然かつ単純なものではない。

そして最後に見ていく「脳」。ここでつべこべ理屈をこねている脳の活動は、まさに、生物が偶然の進化の過程で多様性を増大させていった結果としてできあがったものである。

もし生物の本質が共通原理や必然にしかないとすれば、ヒトの脳のような特殊な器官は、研究に値しないことになってしまう。生命の本質は多様性であり、それを生んだ偶然性である。

さて、多様性を基盤とした生物学は、基礎研究においてのみ重要なわけではない。応用生物学においても、いや、そこでこそ重要である。

なぜか。

作物など有用植物の品種改良に際して必要な基礎知識とは何かについて考えてみる。例えばあるイネの品種の改良を計画したとする。そこに必要な知識は、実は、近年の分子生物学が追究してきたような、アメーバからヒトまでの全生物について共通した、統一性のある基本メカニズムについての知識ではない。もちろんそれは基礎的知識としては必須なのであるが、実際に必要、役に立つのはそうしたのではなく、その改良の対象となるイネの品種が持っている特徴、諸特性についての遺伝子レベルの理解である。

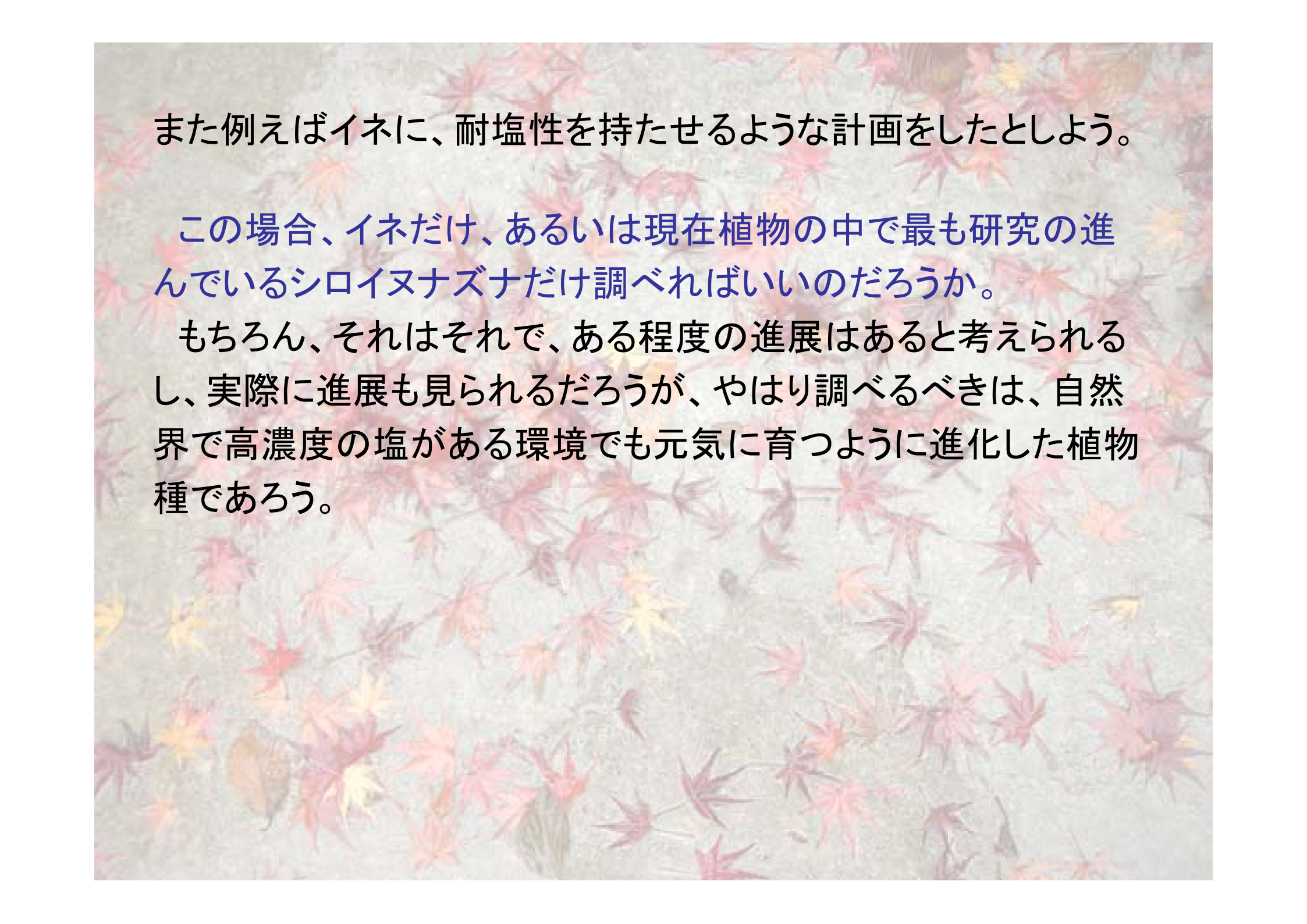
具体的に言って、今、眼前にあるイネの品種について、葉が長く垂れてしまわないように品種改良したいとしよう。

そこで必要なのは、分子生物学が目指してきたような、「大腸菌からゾウまで」全てに共通した仕組み、例えばDNAからmRNA、タンパク質が作られてくる過程についての理解だろうか。

全ての種の植物が持つ葉形態の制御系の理解だろうか。

ここで必要なのは、そのイネの葉が、アサガオの葉と違ってなぜ長い形をしているのか、そしてなぜ先端が垂れるのか、その理由についての遺伝子レベルでの理解である。

それがもしイネにしか通用しない理解だったとしても、それはやはり重要な理解であって、これを「枚挙主義」と批判するのは、あたらない。



また例えばイネに、耐塩性を持たせるような計画をしたとしよう。

この場合、イネだけ、あるいは現在植物の中で最も研究の進んでいるシロイヌナズナだけ調べればいいのか。

もちろん、それはそれで、ある程度の進展はあると考えられるし、実際に進展も見られるだろうが、やはり調べるべきは、自然界で高濃度の塩がある環境でも元気に育つように進化した植物種であろう。

ヒト医学でも、ゲノムの解明を基盤としたSNP解析を通して「個人差」の遺伝的背景についての解析が、大規模に進められている。


この到達点の一つとして目されているのは、治療薬の効果の個性による違いに合わせた、オーダーメイド処方である。

従来は、「ヒトに共通」の仕組みの存在を前提として、個人差を考慮に入れず、体重や性別程度のみを勘案しただけの、＜誰でも同じ＞という荒っぽい治療薬投与が行なわれてきた。しかしそれによる医療事故は、決して軽視できる数ではないし、その悲劇の度合いも決して無視できるものではない。

個性や多様性は、生物にとって、実用的にも、たいへん大事なポイントなのである。

ようやく生物学は、統一原理欠如という謂われなき劣等感から、解放されつつある。

多様性と偶然性を踏まえた生物学こそが本当の科学である。



「システム」を念頭においた上での
＜枚挙主義＞の復活か。