実験データー解析概論

— 統計学に基づく「よりよい推論」のために —

三中 信宏

MINAKA Nobuhiro

独立行政法人 農業環境技術研究所 生態系計測研究領域 上席研究員［生物統計学］

東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻 教授［生態系計測学］

東京農業大学大学院 農学研究科 客員教授［応用昆虫学］

mailto:minaka@affrc.go.jp （メール）

http://twitter.com/leeswijzer/ （ツイッター）

http://cse.niaes.affrc.go.jp/minaka/ （ウェブサイト）

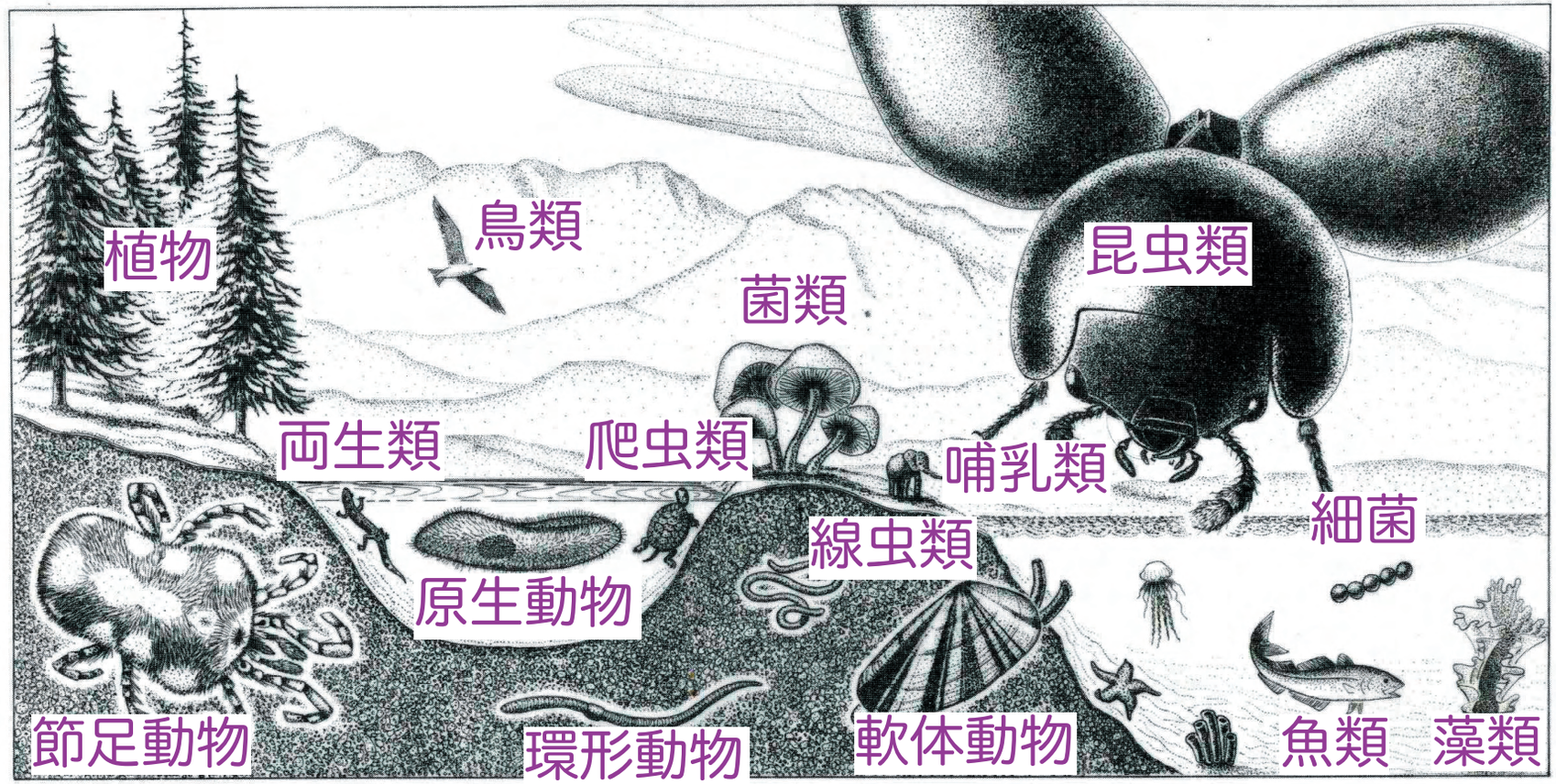
http://d.hatena.ne.jp/leeswijzer/ （ブログ）

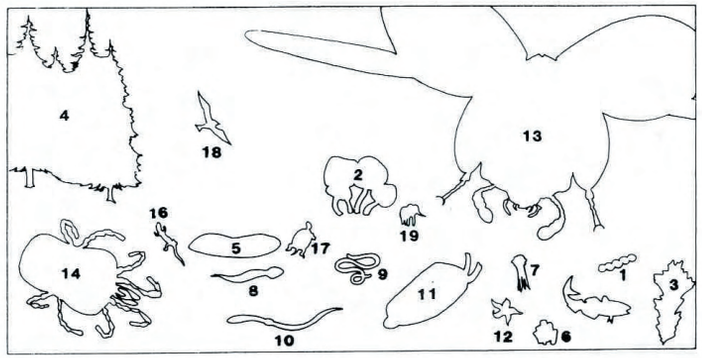
2014 年度・東京農業大学生物応用化学科（毎週金曜第 2 限）

三中信宏〈実験データー解析概論〉：2014 年 4 月～ 2014 年 9 月

東京農業大学世田谷キャンパス 431 番教室

The Species Scape





Size of individual organisms represents number of described species in major taxon.
Unit Area: □ = approximately 1,000 described species.

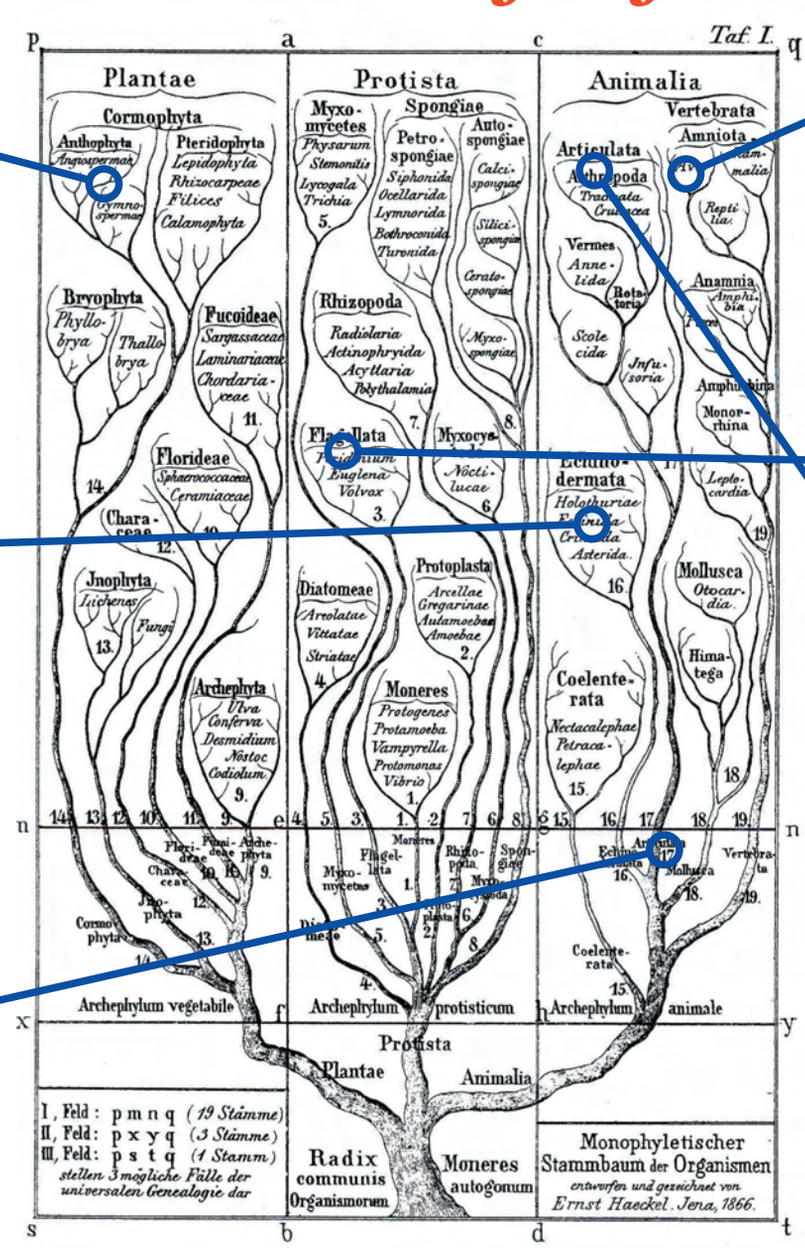
Taxon

1 Monera (Bacteria, Blue-green Algae)
2 Fungi
3 Algae
4 Plantae (Multicellular Plants)
5 Protozoa
6 Porifera (Sponges)
7 Coelenterata (Jellyfish, Corals, Comb Jellies)
8 Platyhelminthes (Flatworms)
9 Nematoda (Roundworms)
10 Annelida (Earthworms etc.)
11 Mollusca (Mollusks)
12 Echinodermata (Starfish etc.)
13 Insecta
14 Non-insect Arthropoda (Mites, Spiders, Crustaceans etc.)
15 Pisces (Fish)
16 Amphibia (Amphibians)
17 Reptilia (Reptiles)
18 Aves (Birds)
19 Mammalia (Mammals)

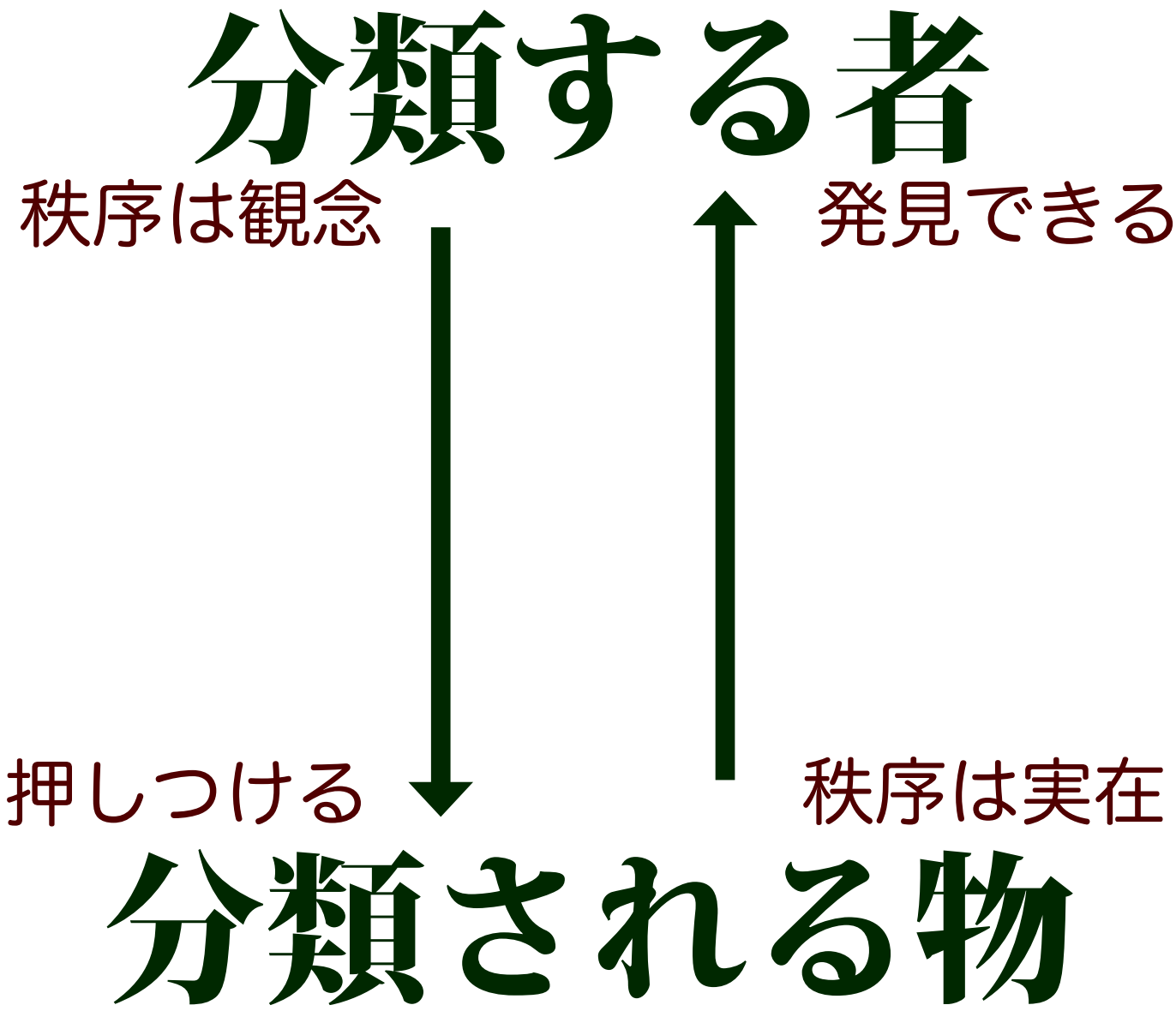
Illustration by Frances L. Fawcett. From Q.D. Wheeler. 1990. Ann. Entomol. Soc. Am. 83:1031-1047.

***Species - scape**, an imaginary landscape on which the size of organisms is proportionate to the number of species in the group it represents. The accuracy of those numbers, however, is uncertain. Many species remain undiscovered or undescribed, and phylogenetic relationships among most species remain poorly understood. For example, the insect (beetle) is based on the 950,000 species described to date. Entomologists estimate that the insects may have ten million or more species. Other groups named- such as reptiles and many invertebrate taxa - may not constitute natural groups, that is, may not share a unique common ancestry. As species are described, relationships analyzed, and classifications made to reflect phylogeny, this species-scape will come into sharp focus, providing a broad and predictive overview of biodiversity.*

The Tree of Life



第 3 回最先端育種セミナー（17 ～ 19 November 2005，神戸）
〈家畜・水産動物における遺伝的多様性研究―その目的と新しい方法論―〉
三中信宏：生物進化の歴史を推定する―分子系統樹を構築する理論と方法


分類する者
秩序は観念
発見できる
押しつける
秩序は実在
分類される物

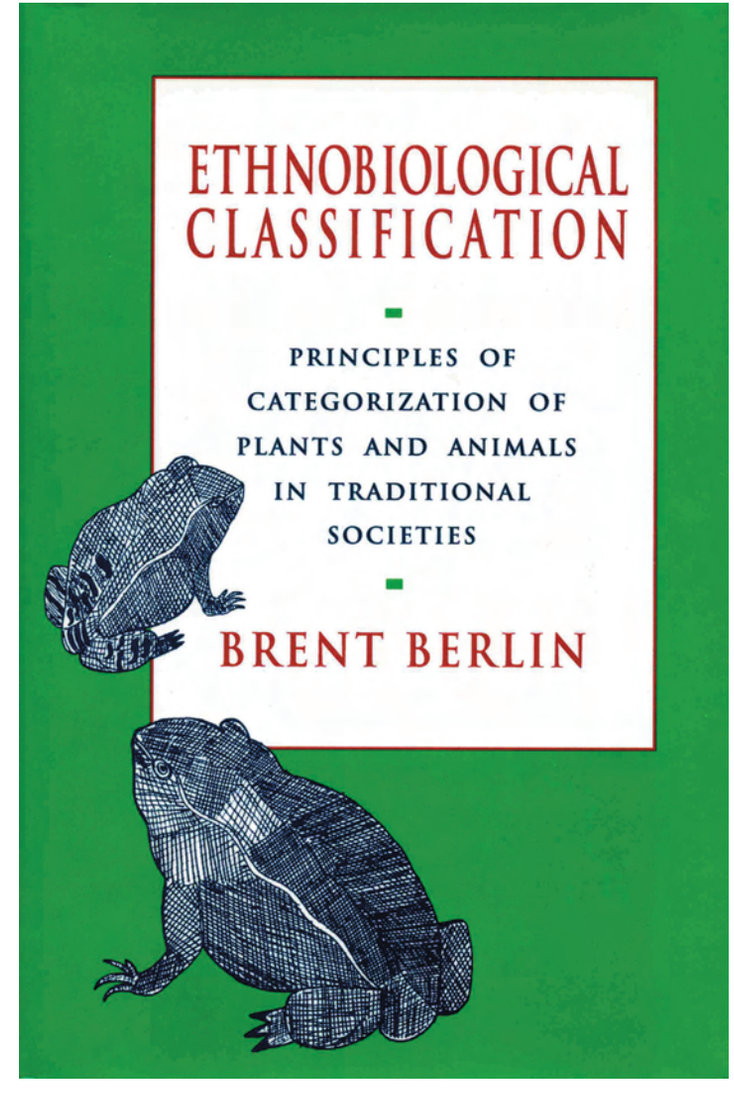
民俗分類（folk taxonomy）

1）階層的に分類する.

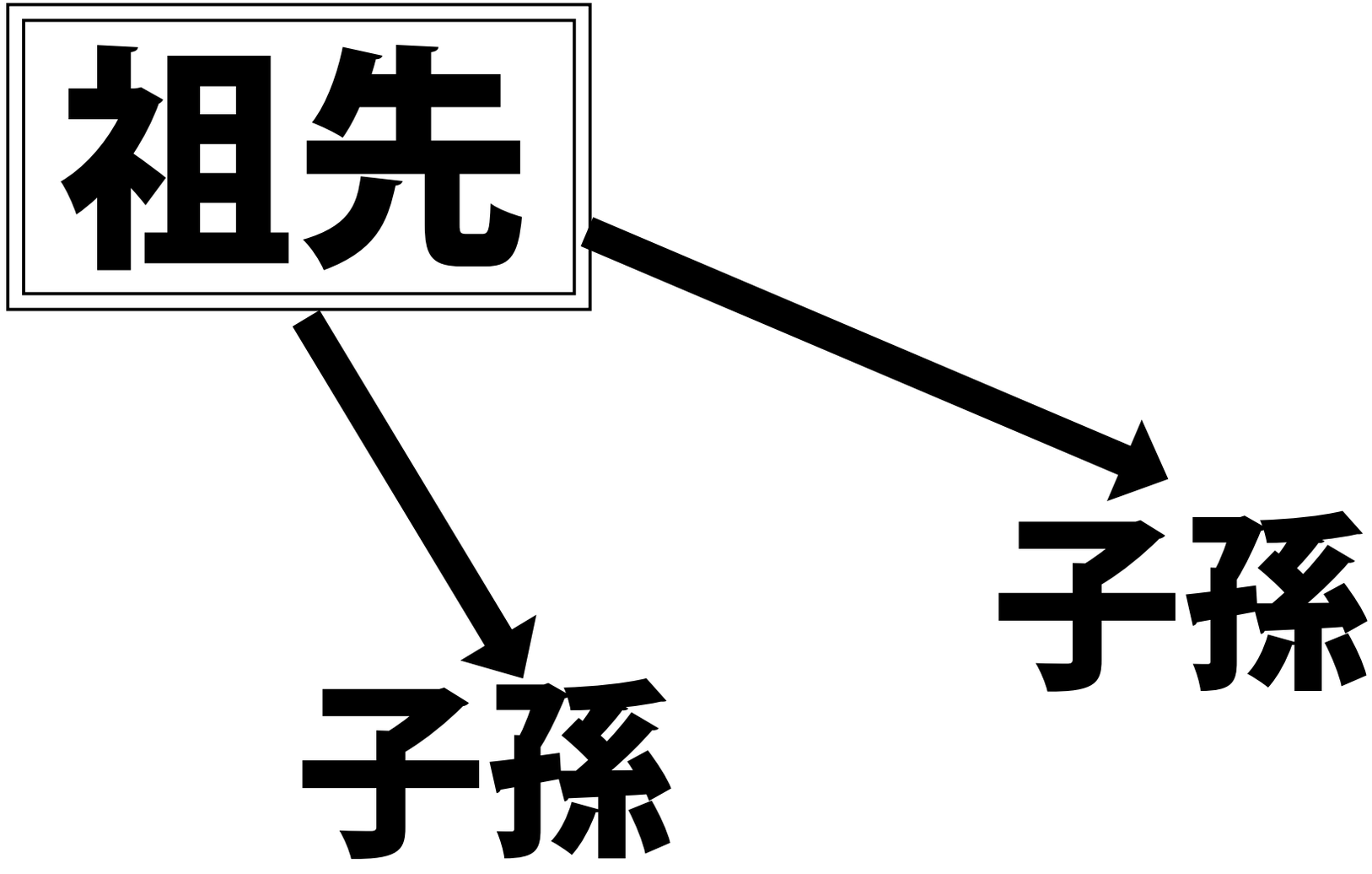
2）階層は深くならない.

3) 各群はサイズがほぼ同じ.

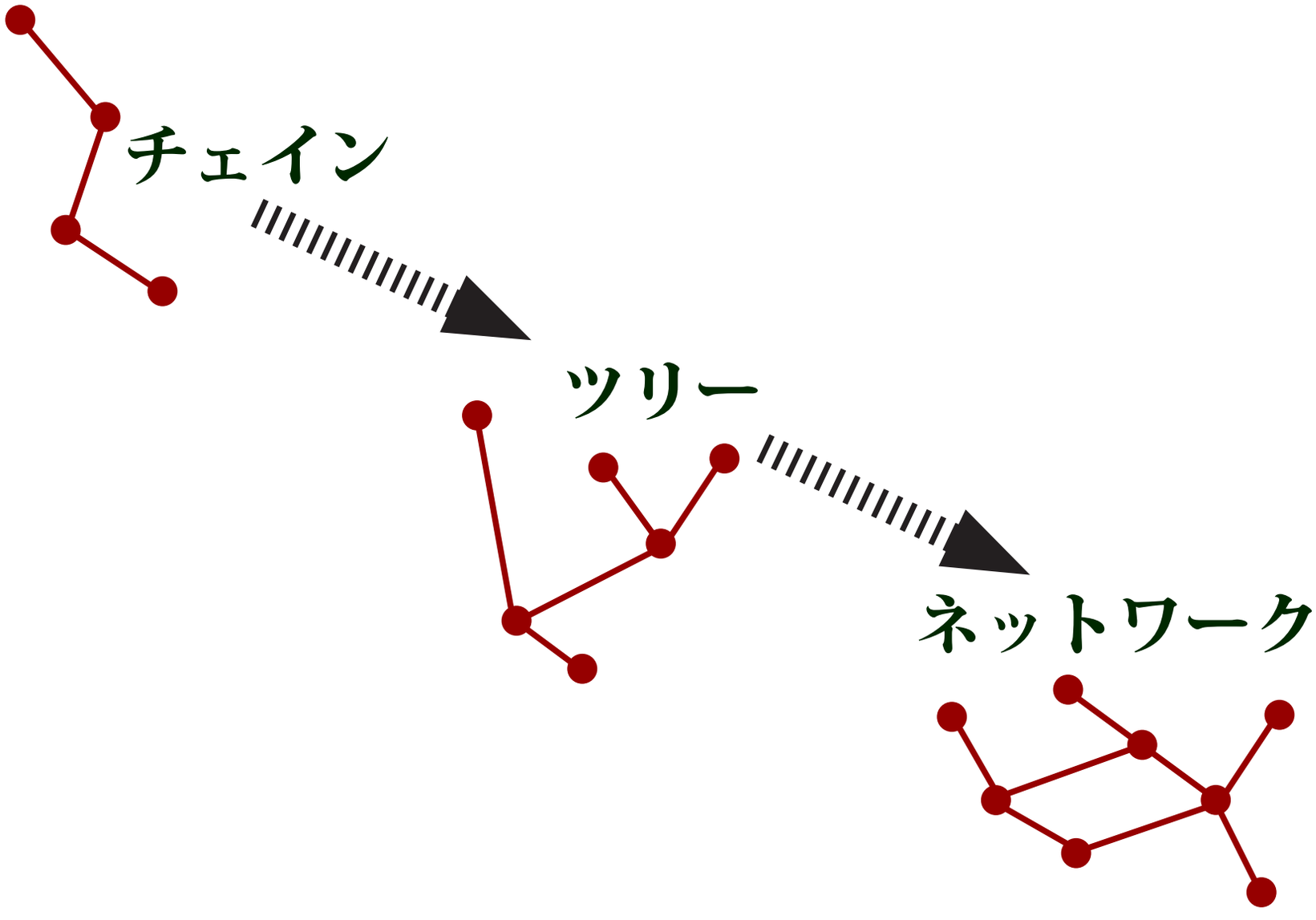
※これらの通文化的特徴は
「分類」それ自体の認知
心理的基盤の存在を示唆
する.



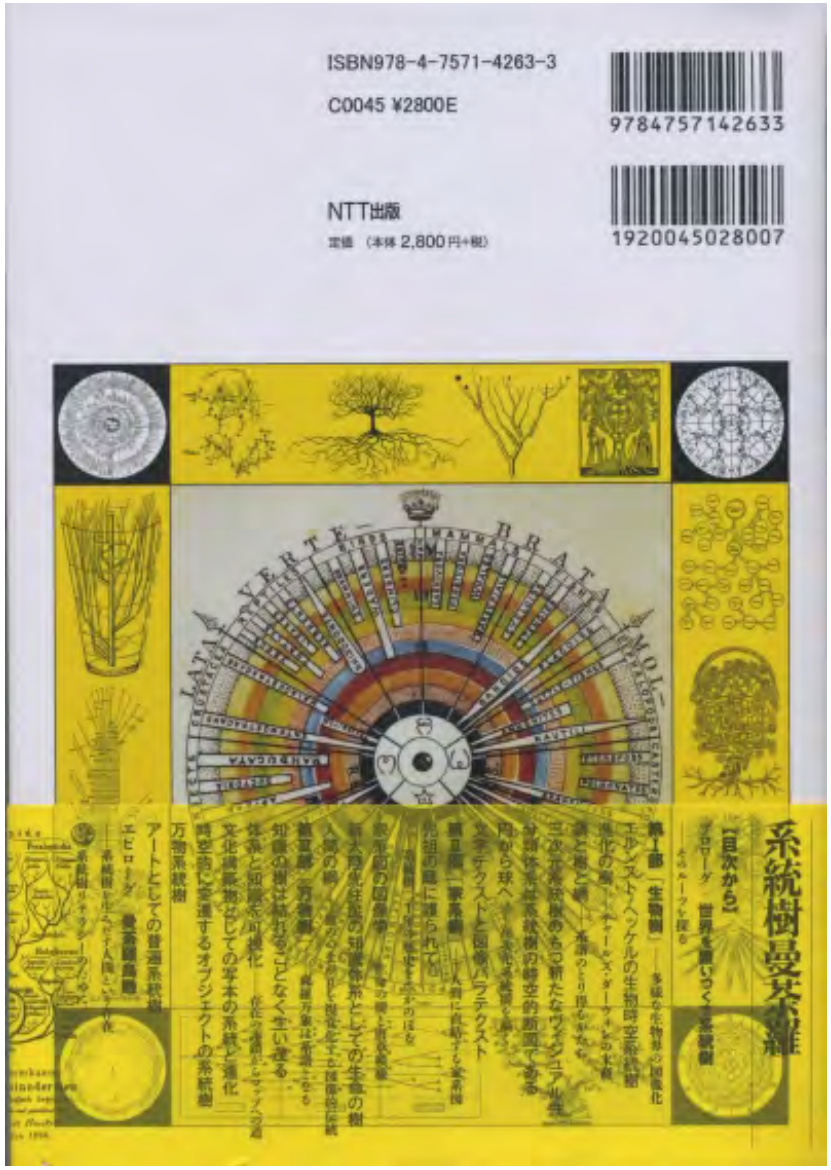
朝日カルチャーセンター（October ～ December 2005，新宿）
三中信宏：公開講座「進化する生物（全５回）」


祖先
子孫
子孫

分類と系統のダイアグラムの体系



三中信宏・杉山久仁彦『系統樹曼荼羅：チェイン・ツリー・ネットワーク』
2012 年 11 月刊行，NTT 出版，東京



I-3. 鎖と樹と網

系譜のとり得るかたち

時空的な連続体（時空ワーム）である系統樹をある特定の時間平面で切断することにより、時間軸をもたない分類体系のマップとして視覚化することができる。言い換えれば、オブジェクトの変化の動態は、その時空断面を切り取ることによって静態化される。その断面の様相は、系譜の歴史を生成する「プロセス」を分類という「パターン」によって可視化するための有効な手段となる。

一般に系統樹とは、直感的にいうならば、一本の「幹」とそこから分岐するたくさんの「枝」によって形づくられている。したがって、系統樹を切断すればその切り口には大小の「円」がみえるはずである。分類パターンとはこれらの「円」の配置の様相だと解釈すればよい。

1. チェイン＝存在の連鎖

ギリシア時代に源をもつ存在物の「鎖（chain）」すなわち「階梯（scale）」の観念は、近世における進化的変遷の観念の萌芽となったと考えられている（Lovejoy 1936）。18 世紀スイスの博物学者シャルル・ボネ（Charles Bonnet, 1720-1793）は、この「存在の連鎖（chain of being）」の観念を生物界に当てはめて図像化した。彼が描いた有名な「自然物の階梯」（1745）を見てみよう（図 1）。

シャルル・ボネ
Charles Bonnet,
1720-1793（スイス）

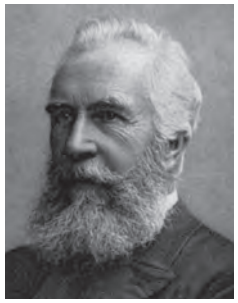
「自然物の階梯の観念（ideé d'une échelle des êtres naturels）」と銘打たれたこの図は、文字どおり「はしご（梯子）」になぞらえて、最も原初的な四大元素すなわち土・火・空気・水から始まり、一段ずつはしごを登っていくことで、植物から動物を経て、最終的に人

【図 1】ボネ「自然物の階梯」
直線的な存在の連鎖
（Bonnet 1745: vol. 1）

IDÉE D'UNE ÉCHELLE *DES ETRES NATURELS*	自然物の階梯の観念
L'Homme	人類
Ourang-Outang	オランウータン
Singe	猿
QUADRUPÈDES	四足類
Écureuil volant	ムササビ
Chauve-souris	コウモリ
Autruche	ダチョウ
OISEAUX	鳥類
Oiseaux aquatiques	水鳥
Oiseaux amphibies	水陸両用の鳥
Poissons volans	トビウオ
POISSONS	魚類
Poissons rampants	カレイ
Anguilles	ウナギ
Serpens d'eau	水蛇
SERPENS	蛇
Limaces	ナメクジ
Limaçons	カタツムリ
COQUILLAGES	貝類
Vers à tuyau	管棲蠕虫
Teigne	白癬
INSECTES	昆虫
Gall insects	虫こぶ昆虫
Tænia, ou Solitaire	サナダムシ
Polypes	ポリープ
Orties de mer	イラクサ
Sensitive	知覚がある
PLANTES	植物
Lichens	地衣類
Moisissures	カビ
Champignons, Agaries	キノコ、アガリクス
Truffes	トリュフ
Coraux et Coralloïdes	サンゴ
Lithophytes	岩性植物
Amianthe	石綿
Talcs, Gypse, Sélénites	滑石，石膏，セレナイト
Ardoise	粘板岩
PIERRES	岩石
Pierres figurées	姿石
Crystallisations	結晶
SELS	塩
Vitriols	ミョウバン
MÉTAUX	金属
DEMI-MÉTAUX	半金属
SOUFREES	硫黄
Bitumes	瀝青
TERRES	土地
Terre pâte	土
EAU	水
AIR	空気
FEU	火
Matières plus subtiles	微細物質

I-1. エルンスト・ヘッケルの生物時空系統樹

系統樹や分類ということばはこれまで動植物の博物学（ナチュラル・ヒストリー）と関連づけて論議されることが多かった。しかし、関連資料を探索するにつれて、系統樹は単に生物だけをターゲットにしていたわけではないことが見えてきた。多様なオブジェクトを人間にとって理解しやすくするための図形言語あるいは表現手段として、系統樹は生物学や博物学を越えたもっと広い視野のもとにとらえ直す必要があるだろう。系統樹は「図像」という表現手段によって、オブジェクトの多様性のもつ情報を貯蔵・伝達するという大きな役割を背負ってきたのである。それと同時に、「絵」としての系統樹は独自の美的要素を色濃く帯びている。



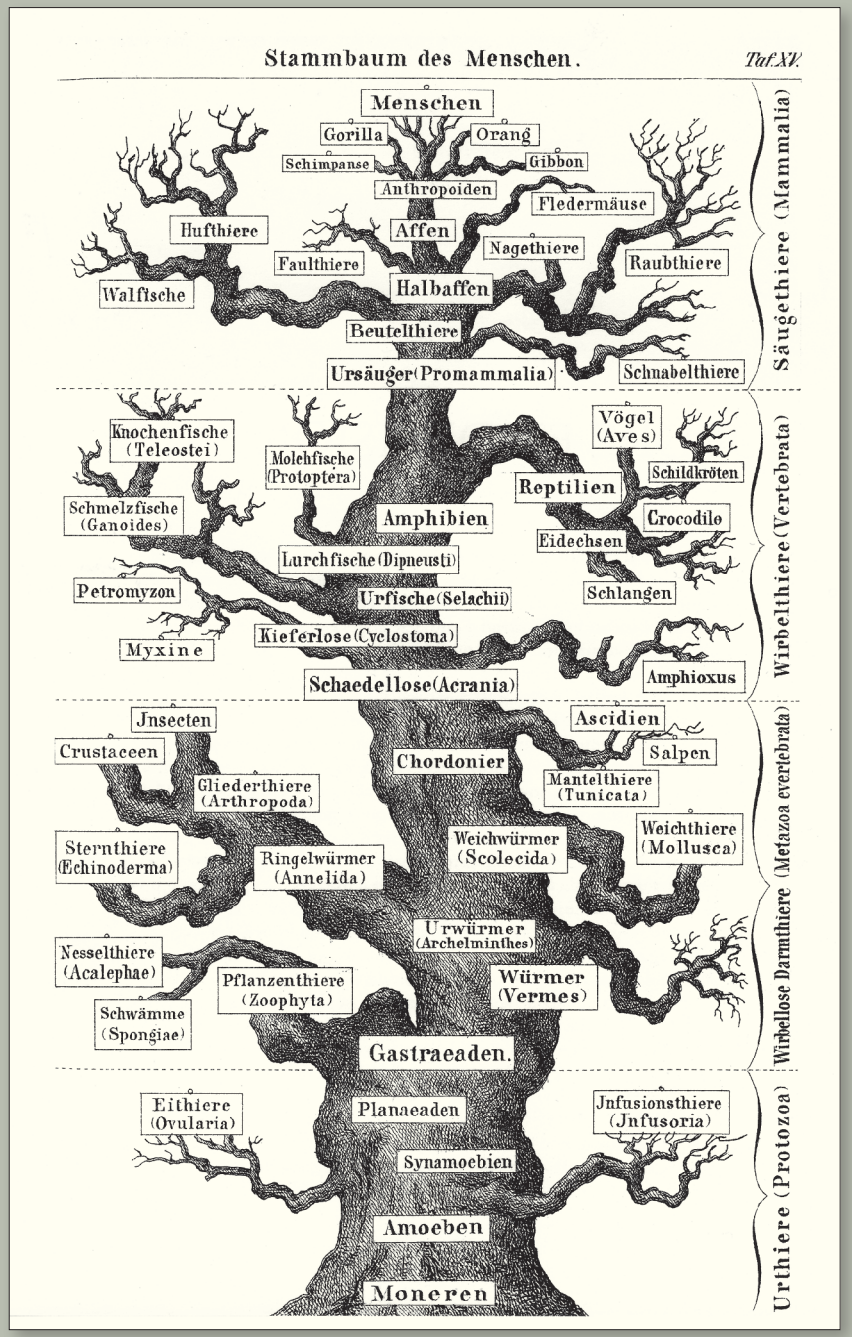
エルンスト・ヘッケル
Ernst Haeckel, 1834-1919
（ドイツ）

1. ヘッケルと生命の樹

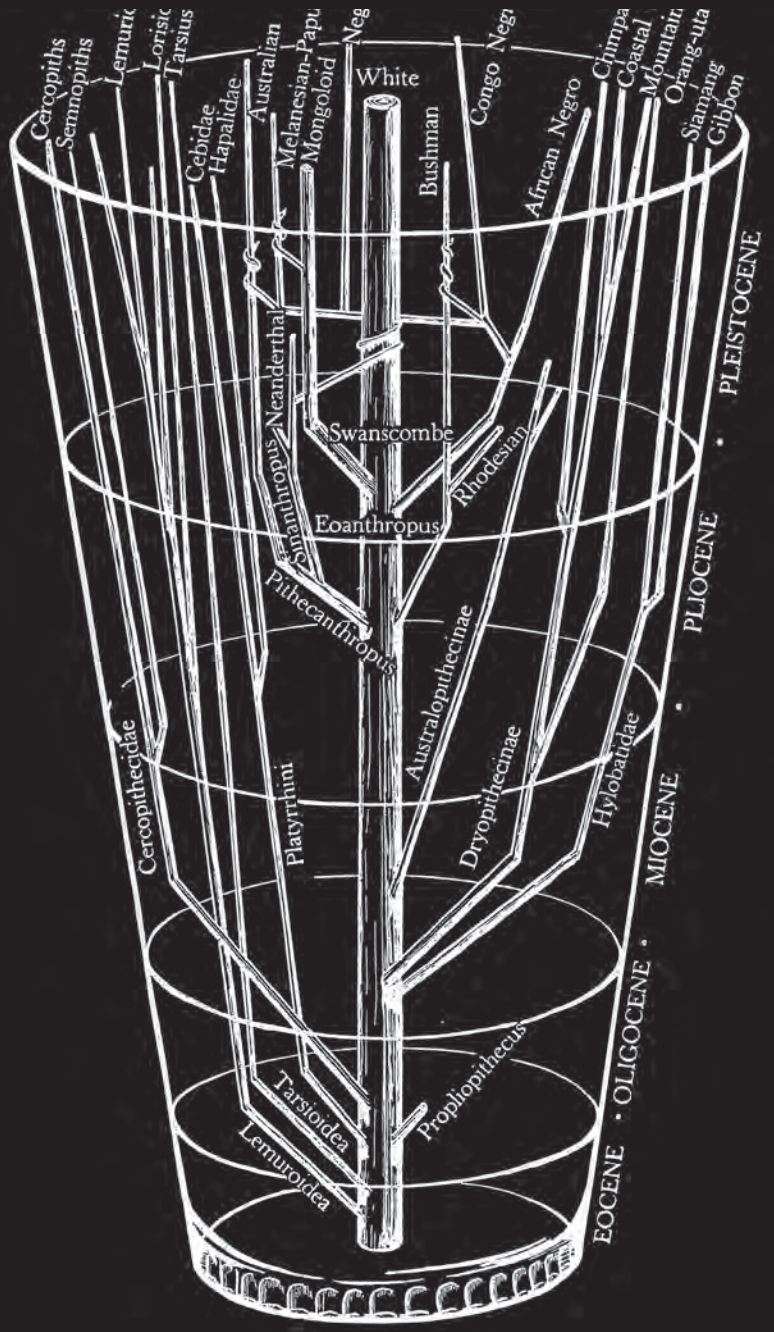
まずはじめに登場するのは、19 世紀のドイツを代表する進化学者だったエルンスト・ヘッケル（Ernst Haeckel, 1834-1919）。彼は、ドイツ中部の名門イエナ大学を足場として研究活動に励んだ。生物界全体に及ぶ系統発生に関心を抱いた彼の名は、現在では、「生物発生原則」すなわち「個体発生は系統発生を繰り返す」という学説の提唱者として広く知られている。しかし、ヘッケルの本領は、情報伝達ツールとしての系統樹の美的観点を一般に知らしめた点にあった。若い頃から画才に恵まれたヘッケルが描き続けた系統樹は生物学のみにとどまらず、グラフィック・デザインの分野にもその強い影響を及ぼした。

『生物の驚異的な形』
（Ernst Haeckel 1899-1904: Tafel 95）

図 1 は、ヘッケルの著書『人類進化論』（1874 年初版）に載っている人類進化の系統樹である。原始的な仮想単細胞生物（Moneren）を根として上方に力強く伸びる樹木の頂点にはヒト（Menschen）が他のすべての被創造物を見下ろしている。ヘッケルの描く系統樹の

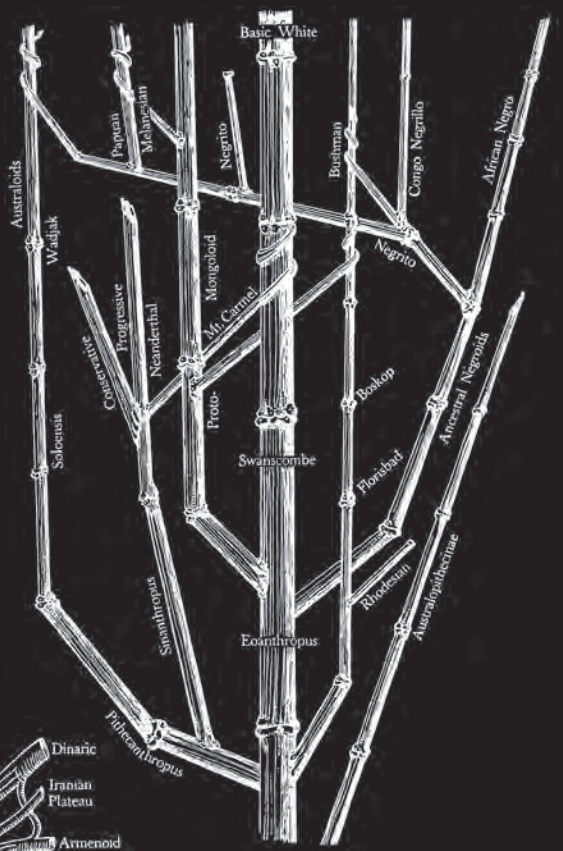


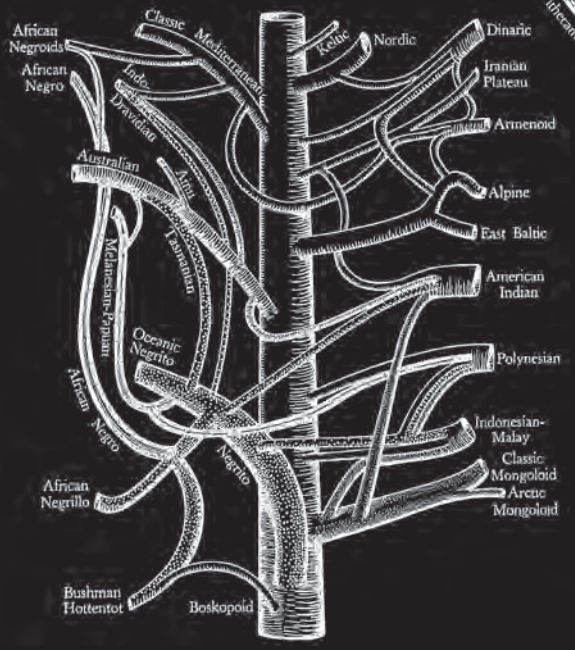
【図 1】ヘッケルによる人類の系統発生 (1874)



【図4】フートンによる霊長類からヒト人種にいたる系統樹（Hooton 1946: fig. 60）

【図5】フートンによる人種系統樹の二次元射影図（Hooton 1946: fig. 61）



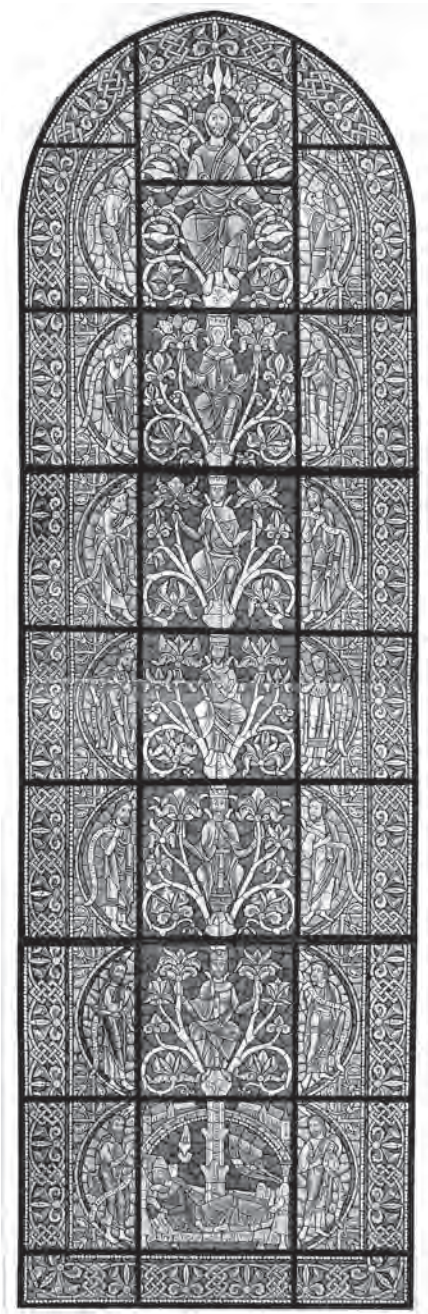


【図6】フートンによる「人種」間の混血を表示する三次元系統ネットワーク（Hooton 1946: p. 652, fig. 68）。フートンは、動植物の育種研究を引き合いに出しながら、異なる「人種」の間で混血が生じることにより、より優れた形質が発現できるだろうと主張した。

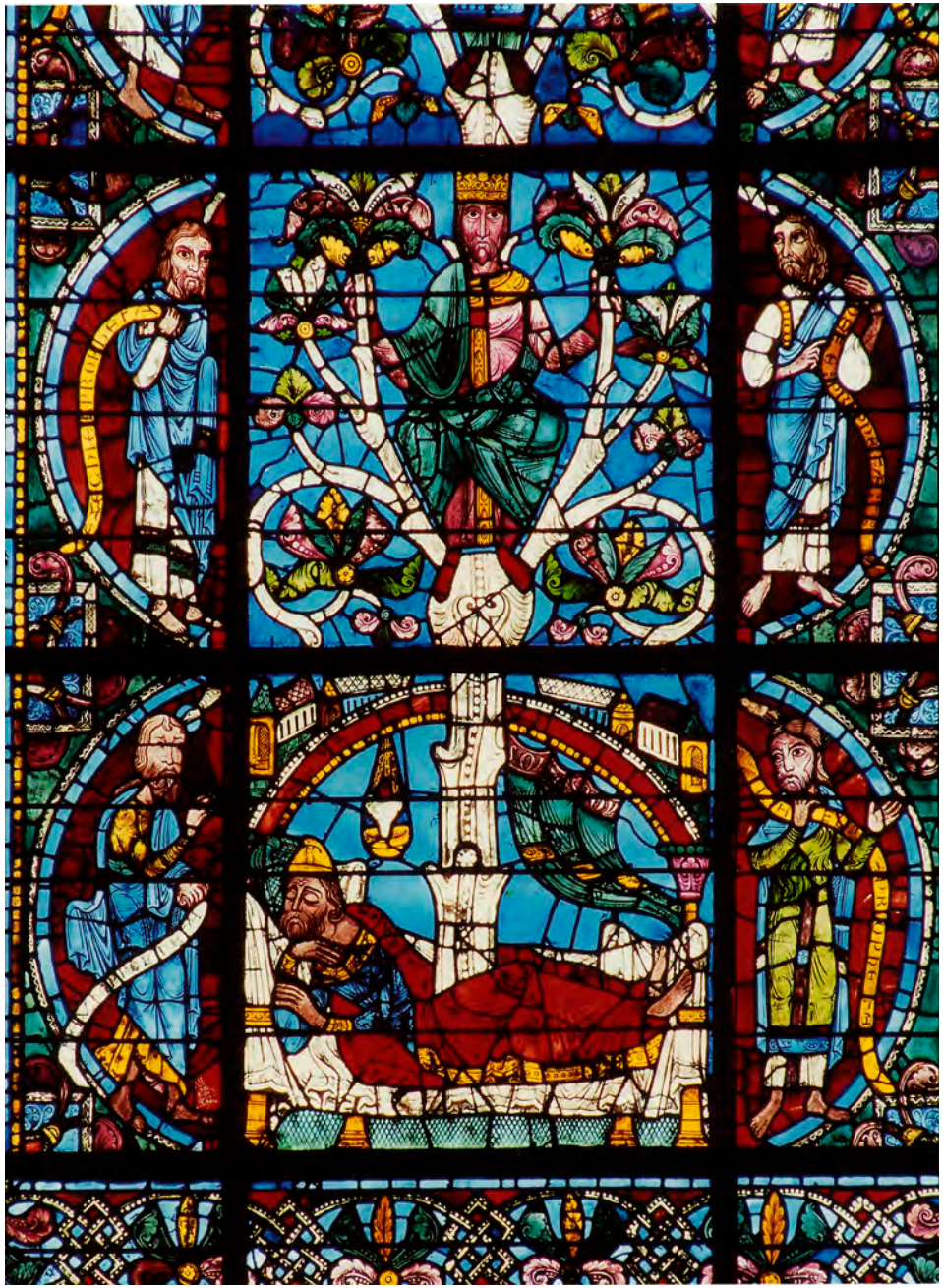
この引用文に書かれている「エッサイの根株（uirga de radice Iesse）」とはイエス・キリストにいたる直系の系譜が発するルーツを表わしている。つまり、キリストの正当性（正統性）を保証しているのは親子関係という家系であるという考えが表われている。

この「エッサイの樹」はキリスト教がらみの美術や建築に頻繁に登場するようになった。最古のエッサイの樹は、スペインの聖地サンティアゴ・デ・コンポステーラで12世紀に建設された大聖堂にある「栄光の門（Pórtico de la Gloria）」に刻まれている。図3に示すのは、それとほぼ同時期につくられた、フランスのシャルトルにあるノートルダム大聖堂の西翼のステンドグラスに描かれた「エッサイの樹」である。

静かに横たわるエッサイ（ダヴィデの父）の身体に発する「エッサイの樹」は、あまたの中間的祖先を経由して直系の幹を上に伸ばし続け、樹の末端である頂点にイエス・キリストを頂く。系譜に基づく血統のつながりを強調するこの図は、見る者をして宗教的畏敬の念を抱かせただろう。



【図3】シャルトルにあるノートルダム大聖堂の「エッサイの樹」（Watson 1934: Plate XXVI）



左の図3「エッサイの樹」部分（Klapisch-Zuber 2003: 82-83）

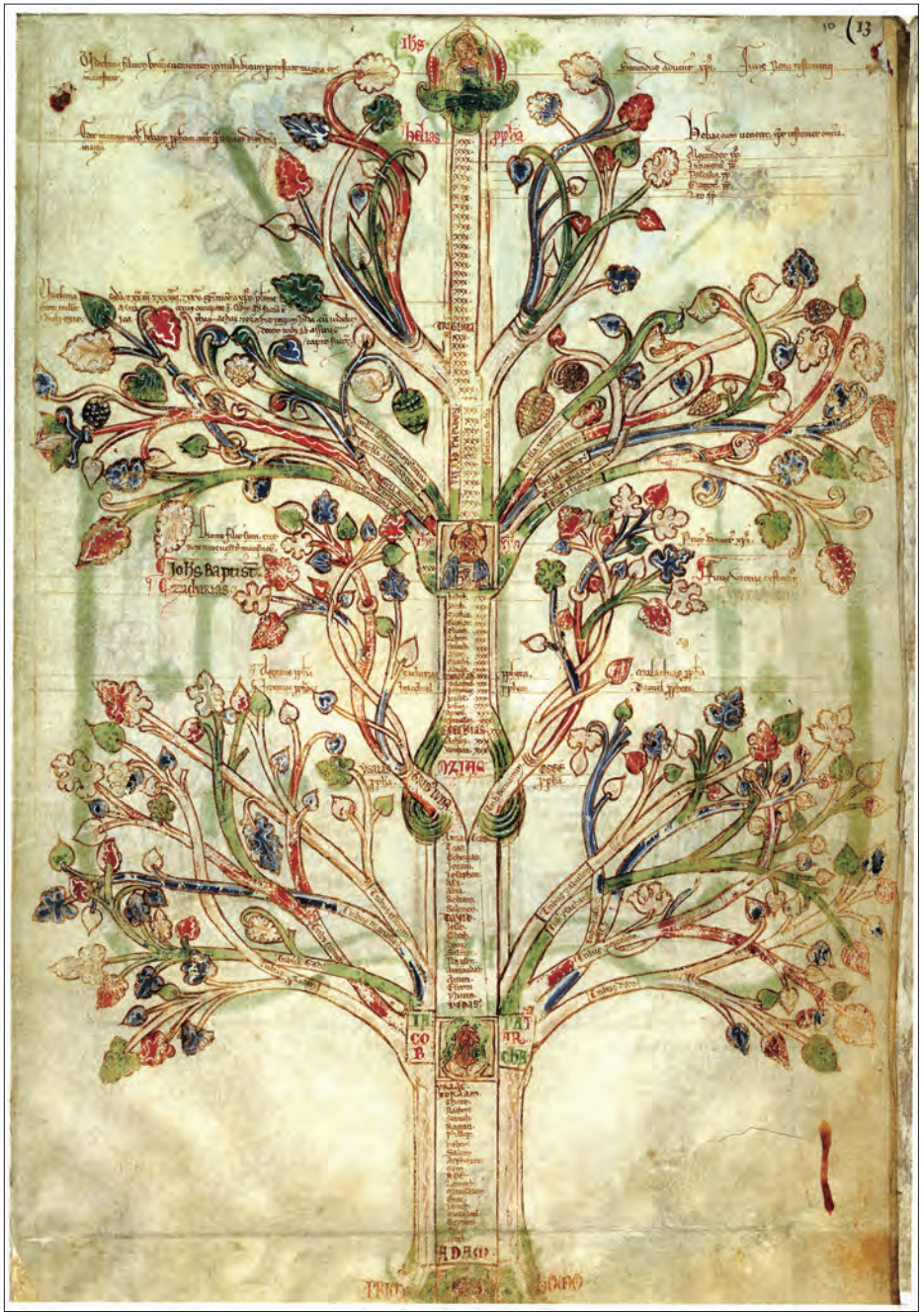
2. フィオーレのヨアキムの「生成の樹」

また、同じく 12 世紀から 13 世紀にかけてイタリアで活躍したフィオーレのヨアキム（Gioacchino da Fiore）も、代表作である『形象の書（*Liber Figurarum*）』や『系譜論（*Genealogia*）』において、独特の画風で数多くの「聖なる系譜」を描いた（Rainini 2006; Patschovsky 2003）。奇怪な図が満載されていることで有名な『形象の書』には、図 4 のような系図が載っている。

キルヒャーと同じく、ヨアキムのこの系図もまたアダムに発する人類の歴史を描いている。ヨアキムの図像世界の柱は歴史や家系を「樹」として表現することにあった。その点で、「エッサイの樹」の発展形としてこれら「ヨアキムの樹」を理解してもいいだろう。ヨアキムの真骨頂である「生成の樹（alberi delle generazioni）」は当時のキリスト教図像世界における「樹」の広まりを示唆している。

12 世紀以降の中世において、キリスト教の聖人たちや聖書の神々たちの系譜を「樹」として図像化したこれらの神聖家系図は、「生命の樹（the tree of life）」という汎世界的に広がる観念によって支えられていた。末広がりの繁栄を示唆する「樹」のイメージは来るべき宗教的栄華を象徴するのにふさわしいイコンであったにちがいない。

フィオーレのヨアキム
Gioacchino da Fiore,
1135-1202（イタリア）



【図 4】ヨアキム『形象の書』にある系図（Rainini 2006）

II-2. 家系図の図像学

生命の樹と唐草模様

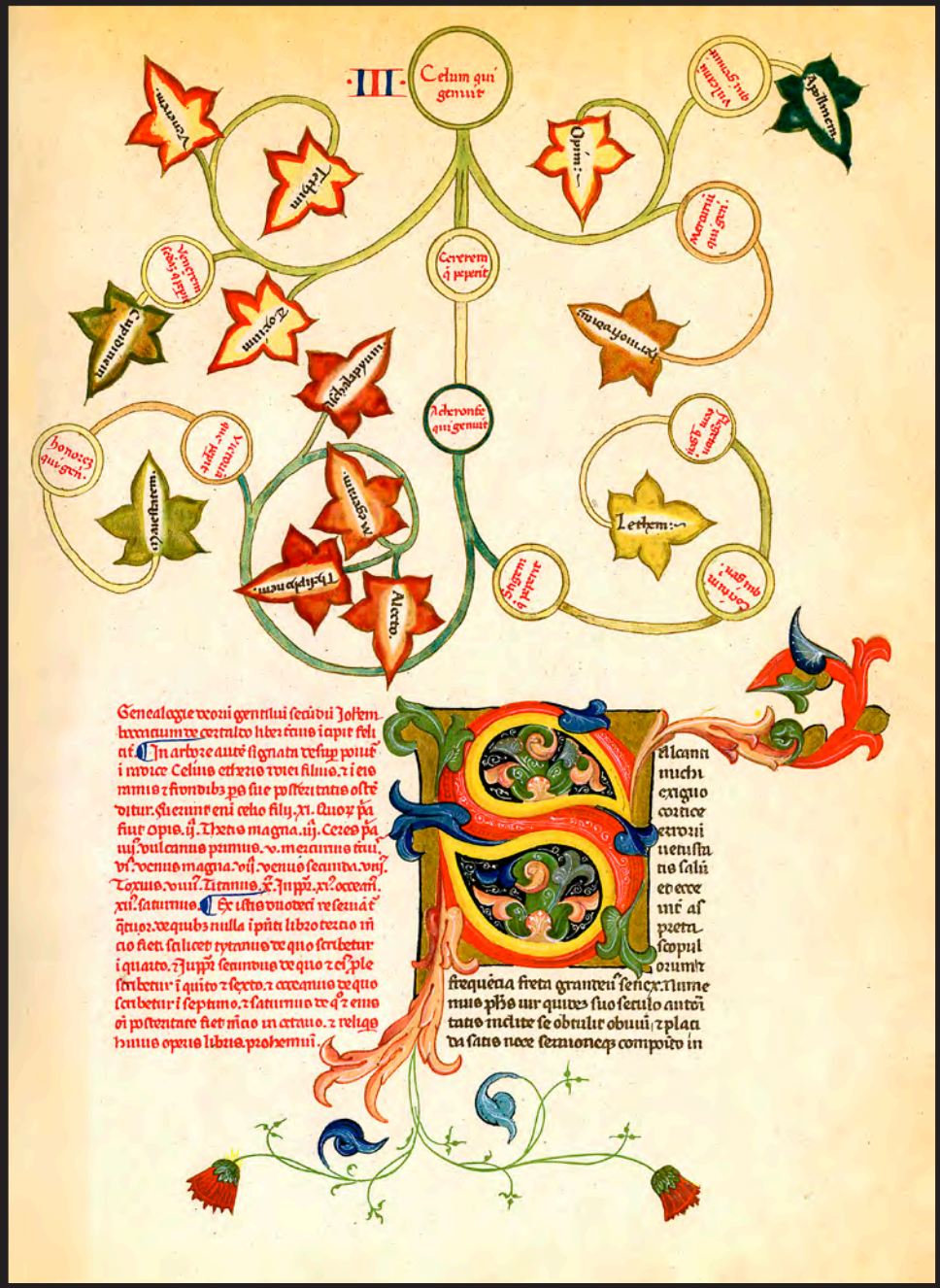
人間社会に古今東西の「家系図」は、汎世界的に分布する「生命の樹（the tree of life）」の図像と連動している。前章ではヨーロッパ中世に光を当てて、家系図のもつ図像学的な背景をたどったが、以下、本章ではまずはじめにもっと広い視座から全体を見渡してみよう。

1. 家系図にからみつく生命の樹と唐草模様

イコンとしての「生命の樹」はきわめて多産にして豊穣だ。われわれ人間は無意識のうちに、「生命の樹」として図式表現することにより、いろいろな観念を視覚化してきたにちがいない。そのひとつの例として、『デカメロン』の作者として有名な 14 世紀のジョバンニ・ボッカチオ（Giovanni Boccaccio 1313-1375）による『異教の神々の系譜（*Genealogia Deorum Gentilium*）』という特異な著作を取り上げよう（Wilkins 1923）。1350 年頃から書き始められ、死ぬまで延々と書き続けられたという本書でボッカチオが描いたのは、ギリシア・ローマ神話に登場する神々の系図だった。

『異教の神々の系譜』は、ボッカチオの死後 1 世紀を経た 1472 年に、イタリアのヴェニスでようやく出版され、その後は写本として伝承された。図像的に興味を惹くのは彼が採用した家系図の描画スタイルである。彩色図版として伝わっている一葉をごらんいただきたい（図 1）。

神話の神々の始祖であるデーモゴルゴン（デミウルゴス）の子孫であるケーラム（Caelum）をルーツとする子孫神たちの系図を描いたこの図版では、ルーツから伸びる葉の一枚ごとに神々の名前が記され、蔦の葉が垂れ下がるように上から下へと親子関係が描かれている。一方、ラテン語の本文には金泥を用いたカリグラフィーによる唐草模様が見られる。



【図 1】ボッカチオ『異教の神々の系譜』（Wilkins 1923: Plate IV）

“オジギビト”の系譜

とり・みき『街角のおじぎびと』筑摩書房刊 より

とり・みき (2007)

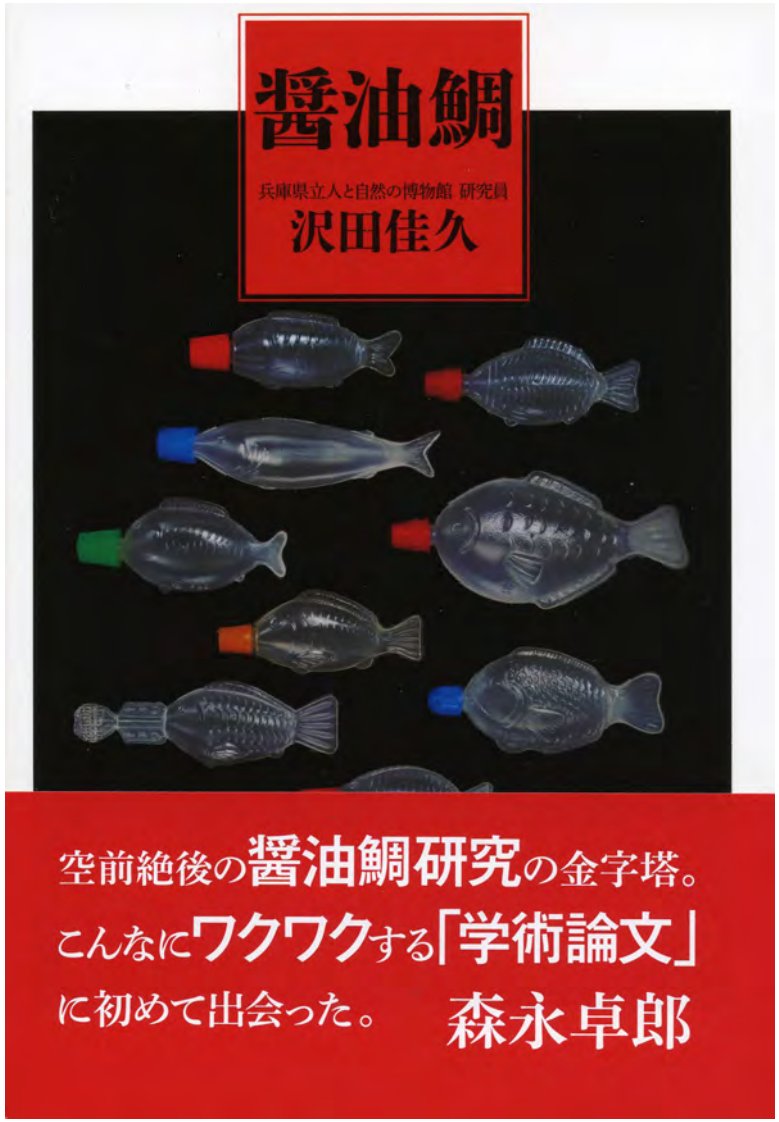
ポケットモンスターの系統分類学

子守妖精ポケモン
伝説格闘ポケモン
重格闘ポケモン
水圧格闘ポケモン
健忘ポケモン
変身ポケモン
光壁格闘ポケモン
暴食ポケモン
怪光格闘ポケモン
純粋格闘ポケモン
古高水圧ポケモン
角怪力ポケモン
神速飛翔ポケモン
伝説鳥ポケモン
居合吸収ポケモン
砂飛行ポケモン
純雷ポケモン
純水ポケモン
岩崩怪力ポケモン
超吸収ポケモン
純炎ポケモン
雷鼠ポケモン
金縛格闘ポケモン
超氷格闘ポケモン
気合虫ポケモン
速星愛玩ポケモン
鋏角怪力ポケモン
汚泥ポケモン

怪力綱
速星綱
汚泥綱

2009.12.11 T. Nishimura

万物は蒐集の対象である



沢田佳久 2012

「醤油鯛」に魅せられて！？　図鑑を出版したユニークな昆虫学者

産経新聞　2013/08/12 16:22

【新・関西笑談】昆虫学者・沢田佳久さん（1）

コンビニ弁当や駅弁などに入っている魚形の調味料入れを25年かけて千個以上も収集。「醤油鯛（しょうゆだい）」と名付けて装飾や形状、入手場所などで分類し、昨年には図鑑として出版したユニークな昆虫学者、沢田佳久さん（53）。専門は甲虫類の「オトシブミ」や「チョッキリ」の生態を研究する昆虫学だが、醤油鯛の収集も、昆虫採集に匹敵する楽しみだという。刺し身やすしなどの日本食の人気に伴い、海外進出もみられる醤油鯛。沢田さんはきょうも、新種との出会いに期待を膨らませている。（聞き手　猿渡友希）

――醤油鯛とは

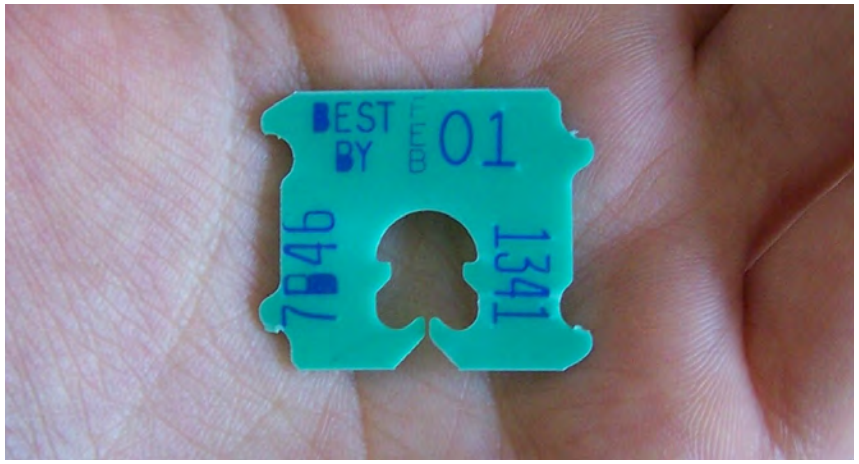
沢田　魚形に作られた金型にはめて作られた、ポリエチレン製の液体調味料容器が醤油鯛です。

――なぜ醤油鯛と名付けたのですか

沢田　集め始めた段階で、魚の中でもタイっぽいかなと思い、なんとなく呼ぶようになりました。「醤油魚」でもよかったのですが、製品の中には、胸びれが大きく成形されるなど、明らかにタイを意図したものがある。それで醤油鯛にしました。

http://www.iza.ne.jp/news/newsarticle/natnews/topics/676286/

万物は蒐集の対象である



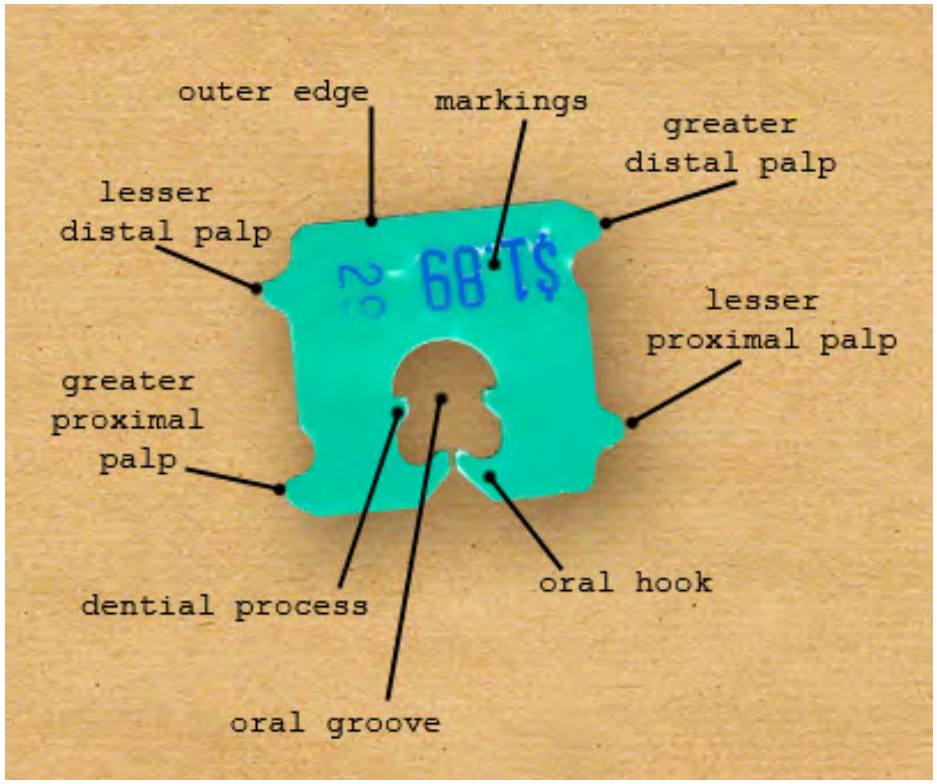
Welcome to the

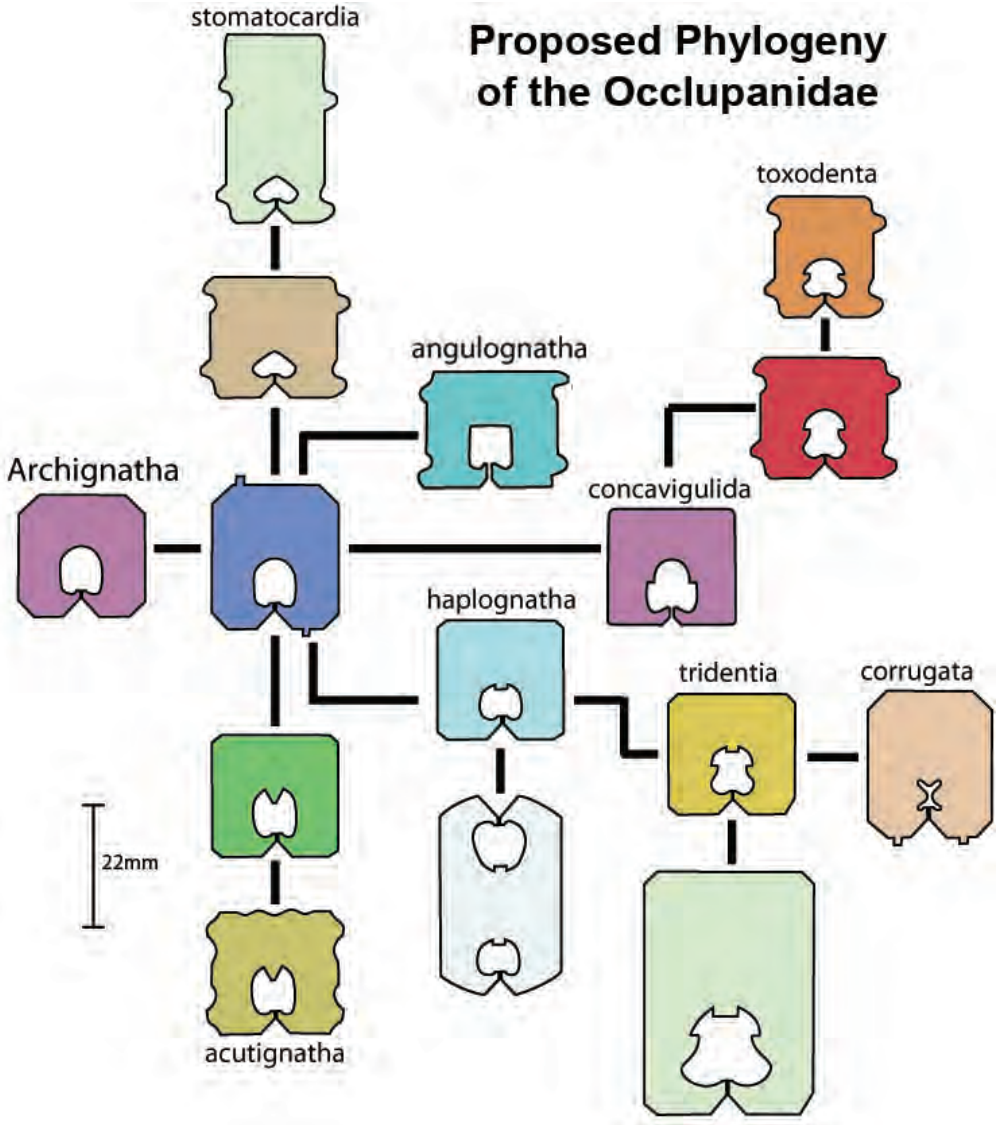
Holotypic Occlupanid Research Group

This site contains several years of research in the classification of occlupanids. These small objects are everywhere, dotting supermarket aisles and sidewalks with an impressive array of form and color. The **Holotypic Occlupanid Research Group** has taken on the mantle of classifying this most common, yet most puzzling, member of phylum Plasticae.

http://www.horg.com/horg/

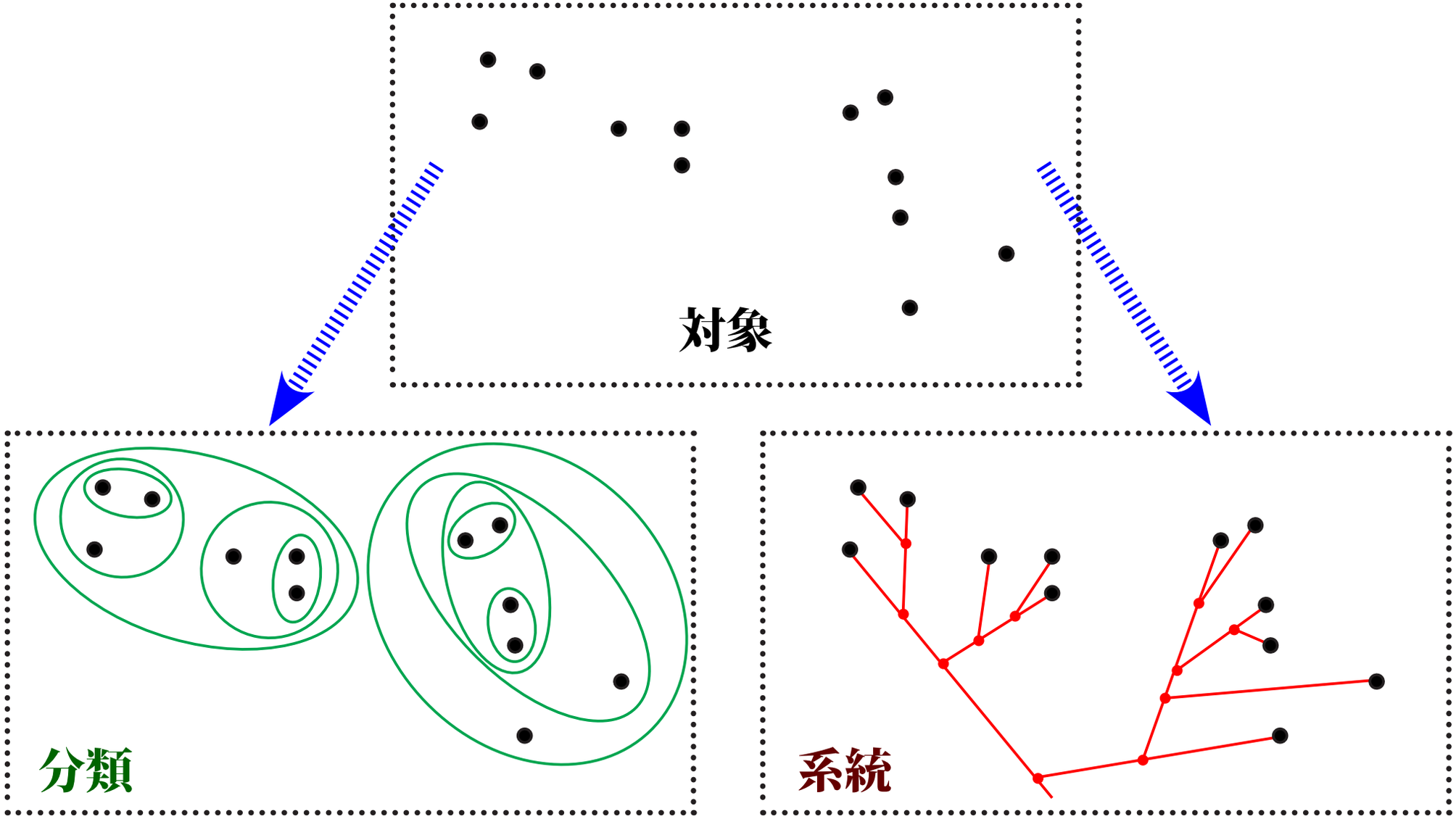
万物は蒐集の対象である



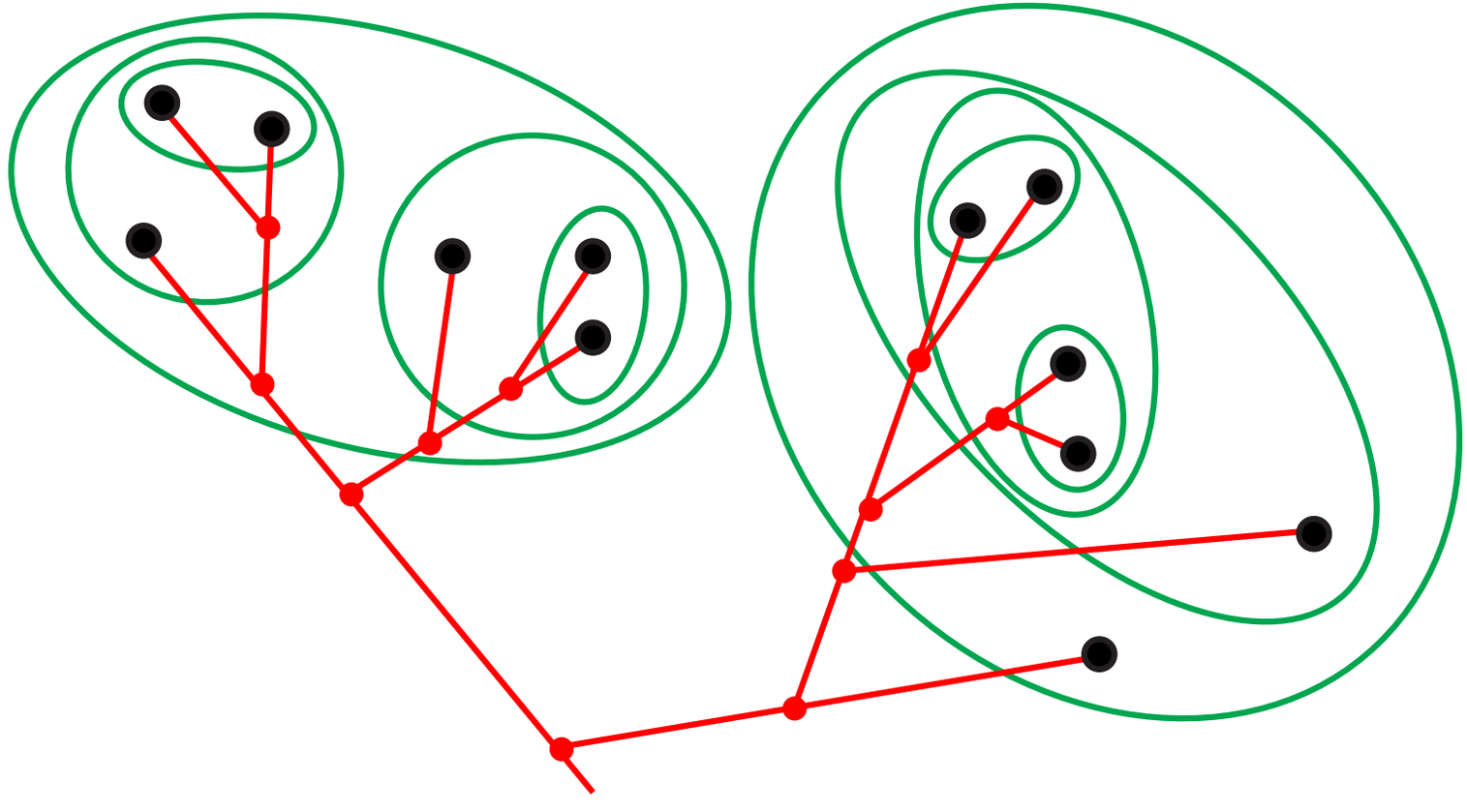


Occlupanid: その形態と系統

分類思考と系統樹思考の相互関係

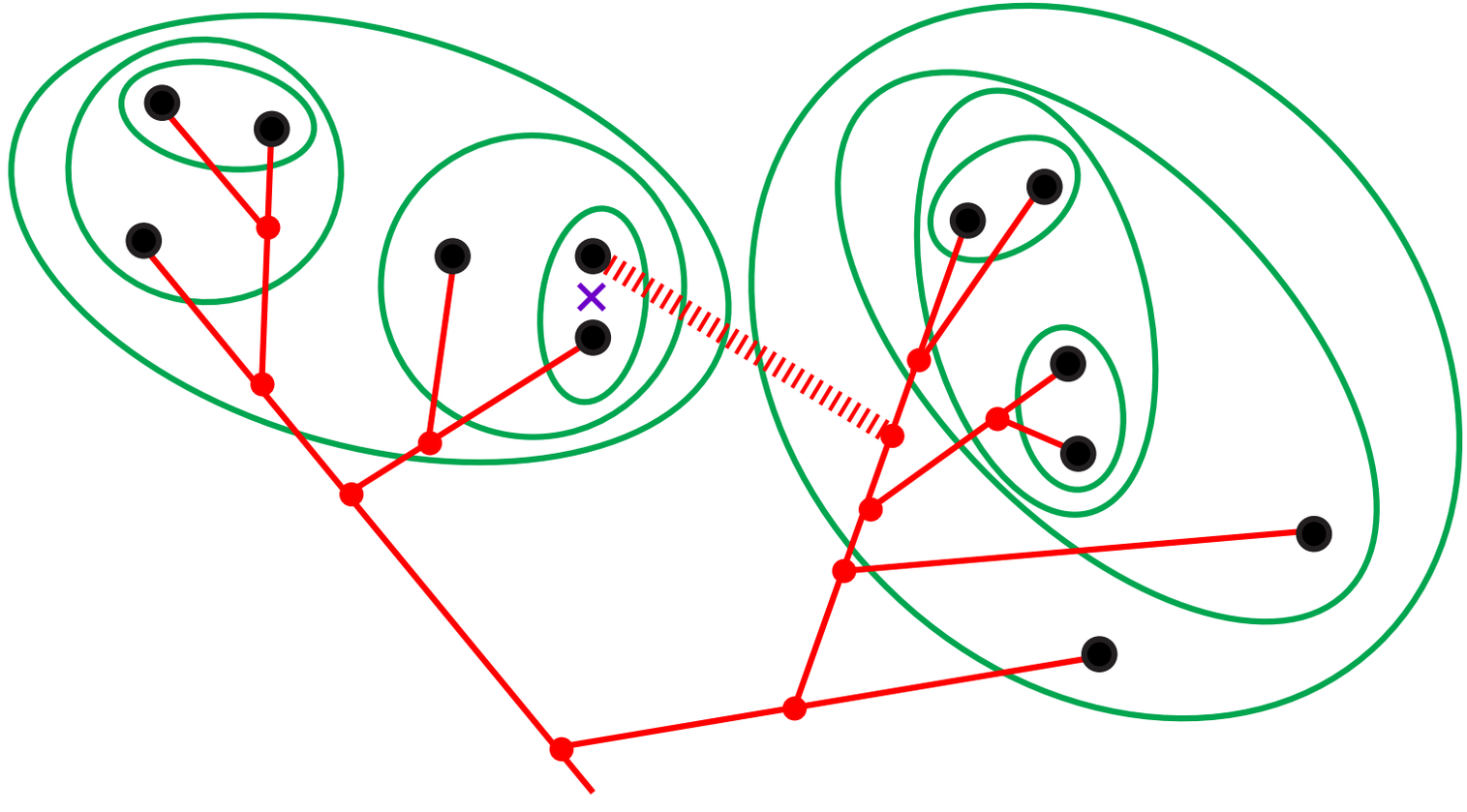


分類思考と系統樹思考の相互関係



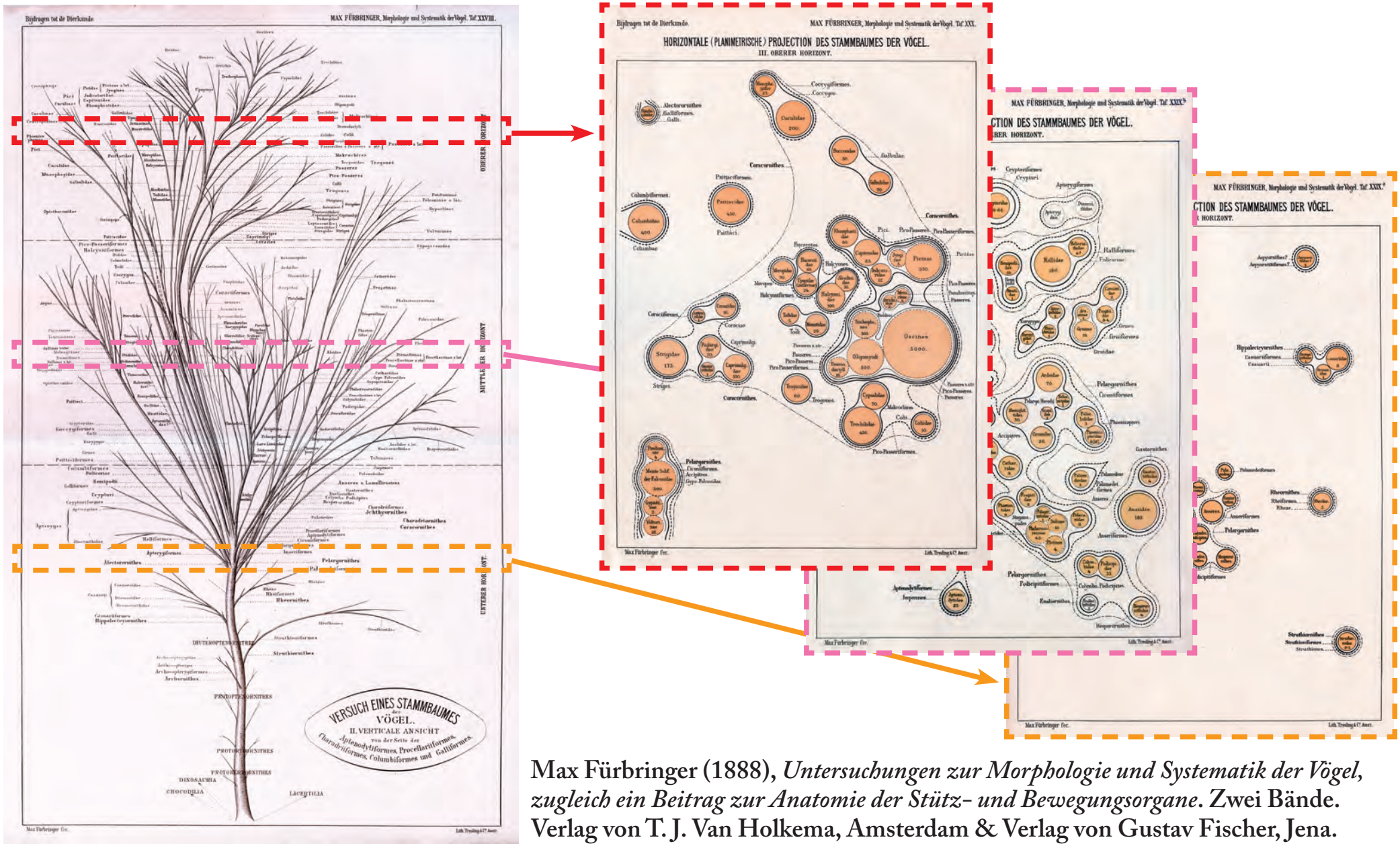
分類＝系統

分類思考と系統樹思考の相互関係



分類≠系統

分類は系統の「切片」である



Max Fürbringer (1888), *Untersuchungen zur Morphologie und Systematik der Vögel, zugleich ein Beitrag zur Anatomie der Stütz- und Bewegungsorgane*. Zwei Bände. Verlag von T. J. Van Holkema, Amsterdam & Verlag von Gustav Fischer, Jena.

生物分類をめぐる科学と直感の矛盾

新刊！

キャロル・キサク・ヨーン著

［三中信宏・野中香方子訳］

『自然を名づける：なぜ生物分類では直感と科学が衝突するのか』

（2013 年 8 月近刊，NTT 出版）