第６回公開シンポジウム「工学教育の原点」－人生の基盤となる「乳幼児期」から見つめる－
会場：東京大学先端科学技術研究センター　ENEOSホール
日時：５月２７日（火）15:00～17:30

プロジェクトの経緯と今後の構想

小 泉 英 明
プロジェクトリーダー

第6回公開シンポジウム「工学教育の原点－人生の基盤となる「乳幼児期」から見つめる－」
会場：東京大学先端科学技術研究センター　ENEOSホール
日時：5月27日（火）15:00～17:30

プロジェクトの経緯と今後の構想

小 泉 英 明
プロジェクトリーダー

第１回キックオフ・シンポジウム　2023.9.14 at ENEOS Hall

基調講演「ヒューマナイジング・ストラテジー
～二項動態思考と実践～」

基調講演：野中郁次郎
一橋大学名誉教授

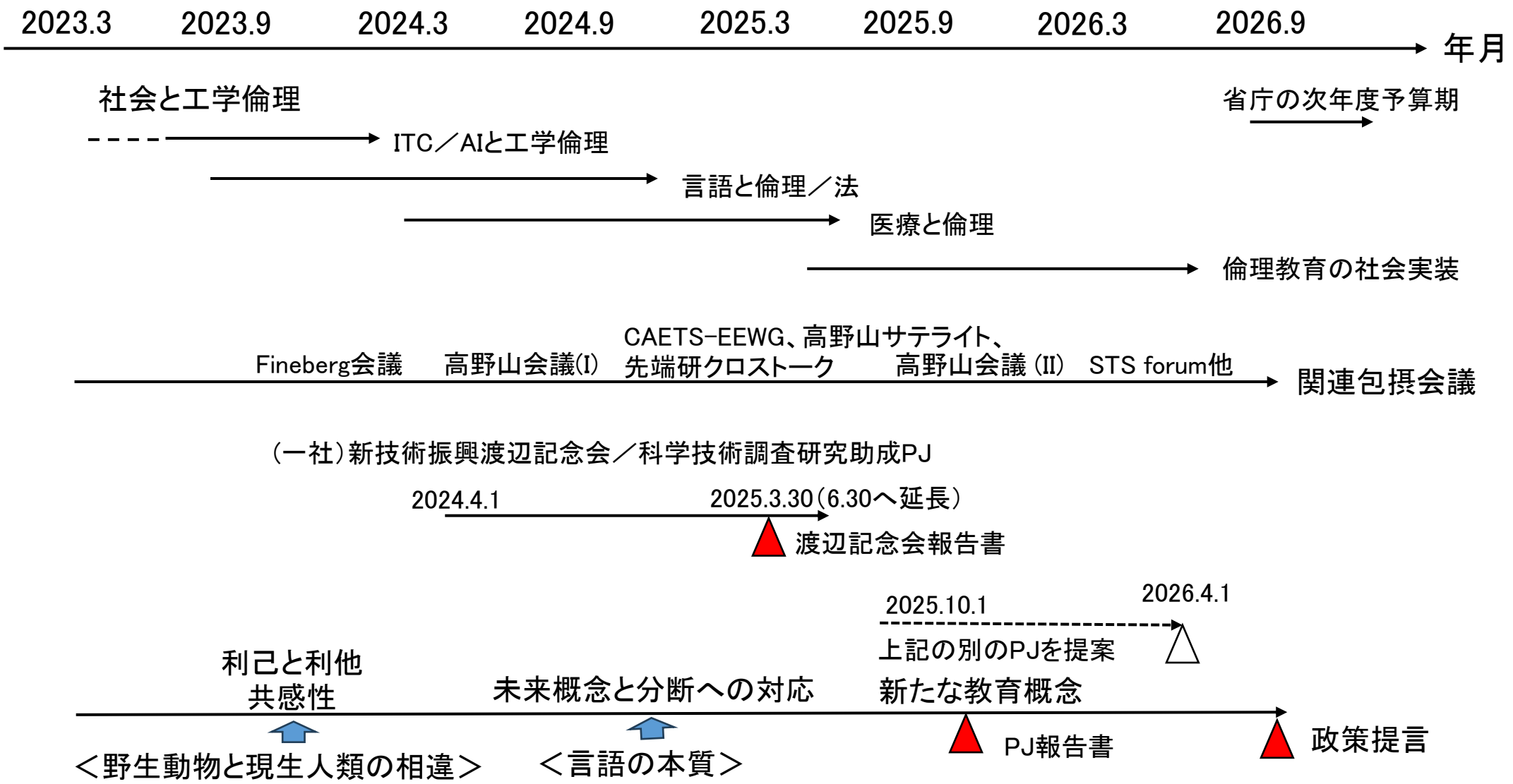
2項対立（弁証法含む）
Dichotomy
➡
２項動態へ
Dynamic Duality
➡
賢慮による実践
Phronesis

「未来を生み出す新たな倫理へ」の深いヒントを野中先生から頂戴しました！

中島隆博東大東文研所長
「やりたかったことだった」

主催（公社）日本工学アカデミー、共催：東京大学先端科学技術研究センター・（公財）生存科学研究所

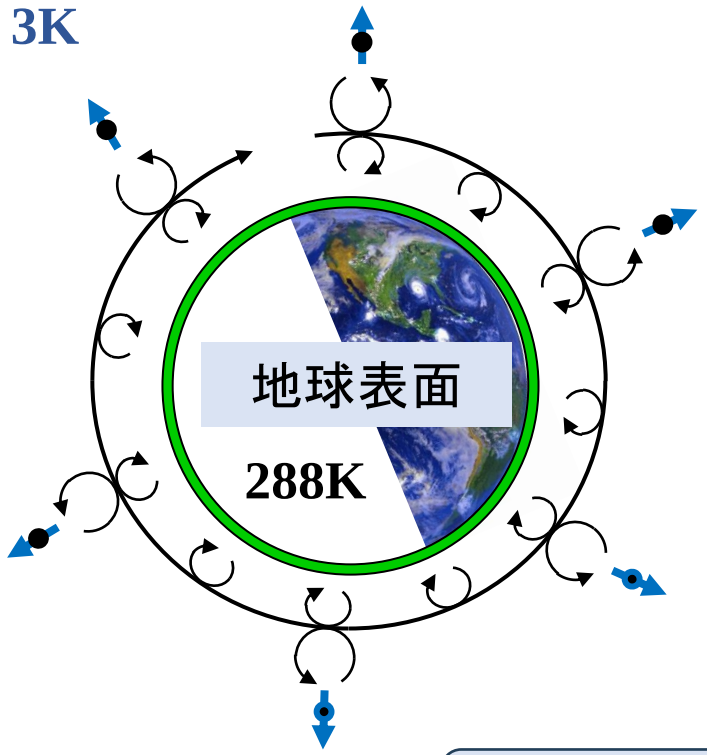
EAJ-PJの骨子と工程表



熱機関としての地球生命圏

ー水文循環系と生命代謝系のリンクー

宇宙背景輻射
(膨張宇宙） 3K



太陽表面
5,800K

光 子

高エネルギー・低エントロピー光子

低エネルギー・高エントロピー光子

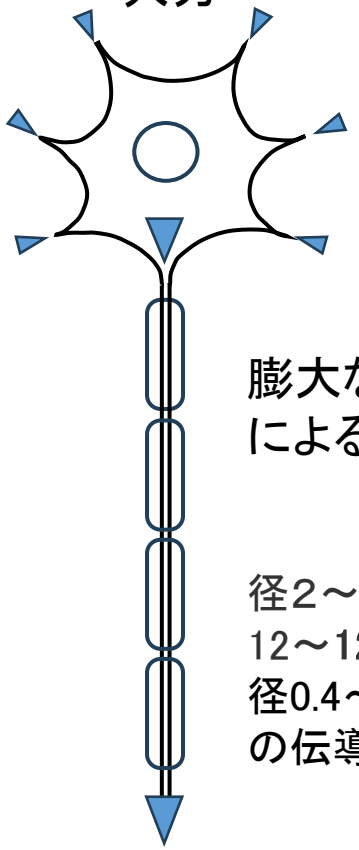
生命：エネルギーと負エントロピー
による自己再生システム

太陽からエネルギー摂取 ➡ 宇宙へエントロピー排出

脳の進化と電子技術の競争

液中イオンによる
情報伝達

入力



出力

神経

膨大な神経回路網
による超並列分散処理

径2～20 μmの有髄線維は
12～120 m/sec程度、
径0.4～1.2 μmの無髄繊維
の伝導速度は0.5～2 m/sec

情報伝達速度
の圧倒的な違い

～0.12
km/sec

～30万
km/sec

金属中電子による
情報伝達

コンピューター

高速大容量半導体チップ
ムーアの法則

1．高速情報処理

2．大記憶容量

深層学習
生成AI

＜ただし大電力消費＞

H. Koizumi, *Symposium on Medical Care, Creativity and World Peace* (Keynote Speech), IPEC Las Vegas (2024)

水の中だけでの情報処理「生命の初期条件」（オンディーヌ仮説）

脳の進化

情報伝達物質
水溶液中のイオン
（速度120m/sec）
伝達物質の拡散

＜進化の初期条件＞

無髄神経
↓
有髄神経
↓
跳躍伝導
↓
伝達速度100倍改善
髄鞘化の順番が
発達を決定

並列分散処理
↓
超並列分散処理
↓
意識下での情報取得
↓
感性

膝状体外視覚系が高速

逐次処理で意識上へ
↓
逐次処理の為、異なる二つの意識を同時に持てない
（時分割処理が必須）
↓
意識下の結果より遅延
↓
運動開始時の意識は後追
2値画像現象

外部世界と内部世界の不一致 ⇒ 言語による橋渡しとその限界

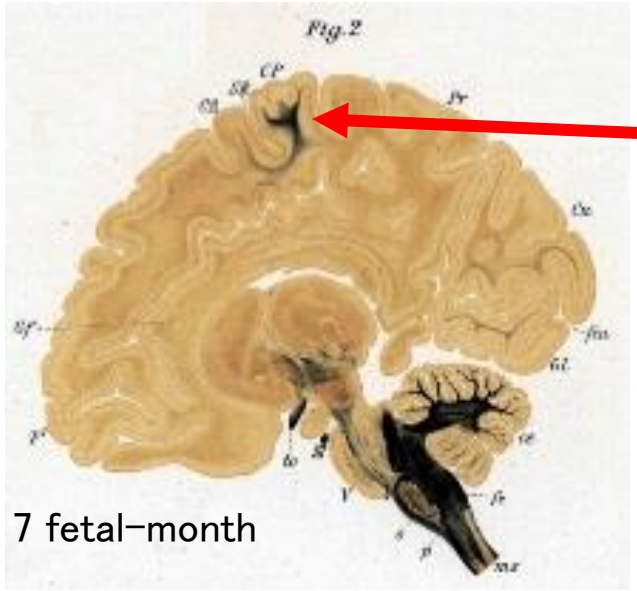
AIの発達

情報伝達物質
は金属中電子
（ほぼ光速）

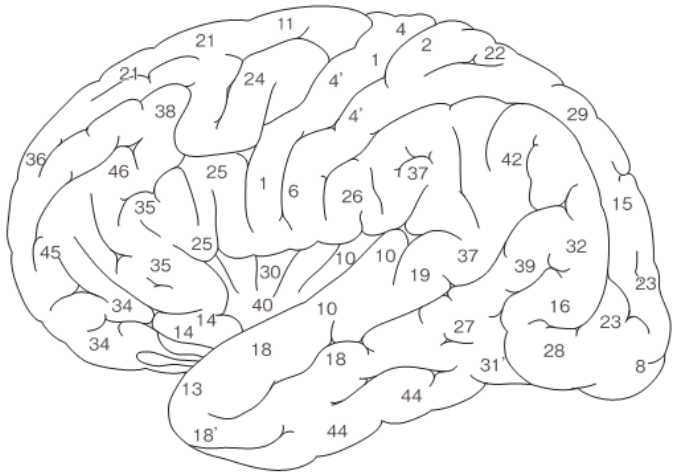
ムーアの法則で集積度増大
（単位面積あたりの素子数は2年で2倍）

構成論的な脳研究が可能

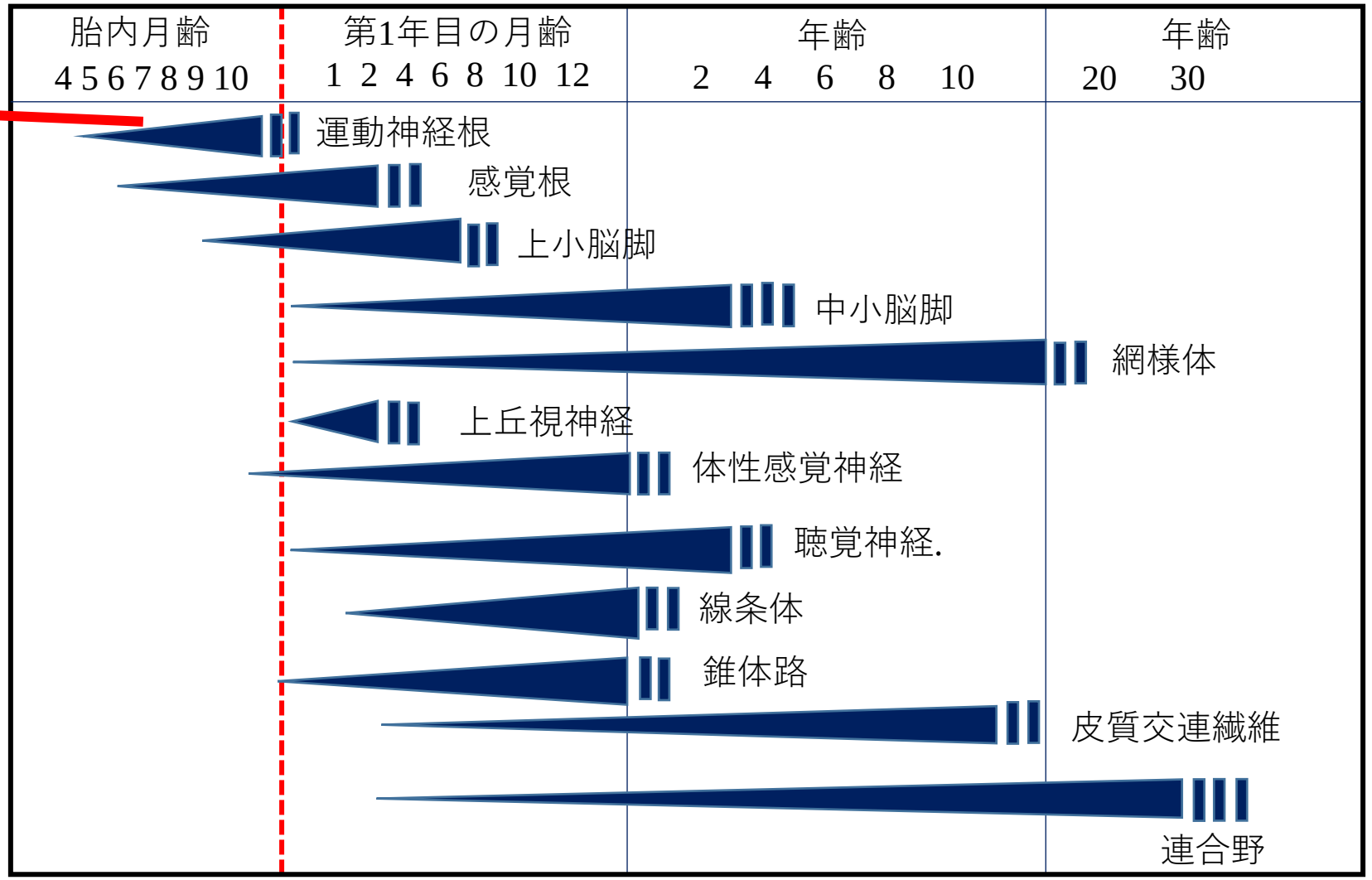
進化・発達と神経髄鞘化（裸線から絶縁線へ：伝達速度約100倍）



髄消化の順番

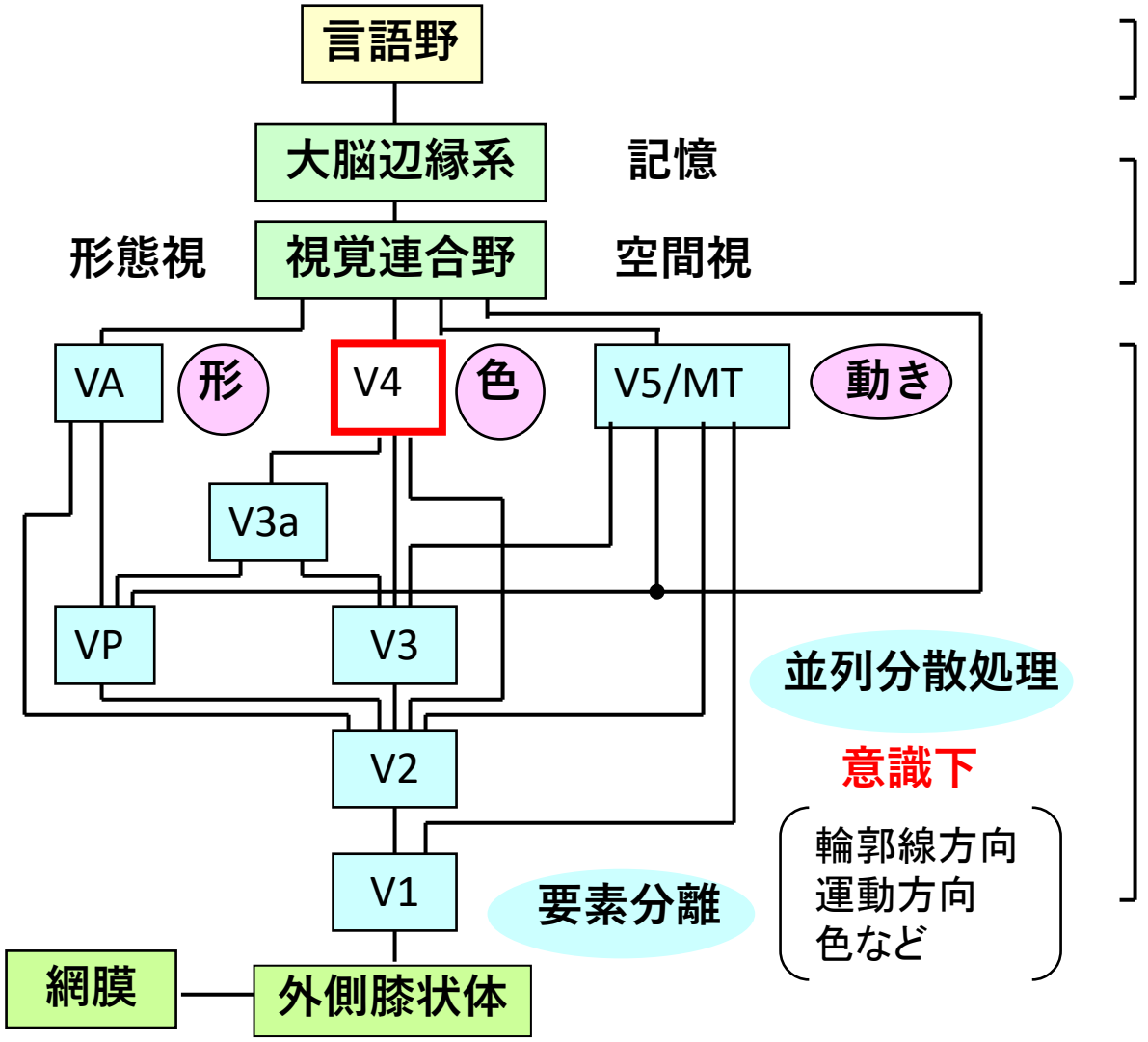


Numbers shows the order of myelination

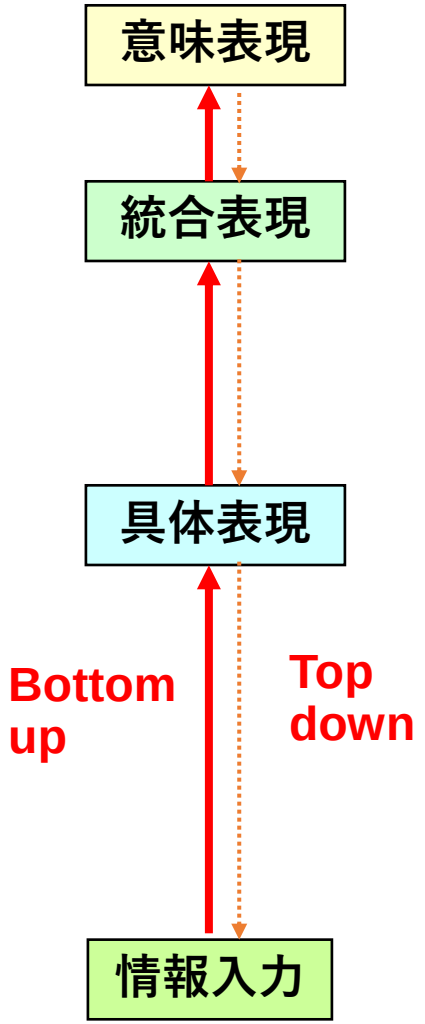


Modified from American Physiological Society (Yakovlev and Lecours) (1967)
P. Flechsig's original works in 1921
小泉英明『アインシュタインの逆オメガ：脳の進化から教育を考える』文藝春秋社（2014）

脳の働きの基本：分解と統合（視覚の例）



視覚認知の階層構造



小泉英明『脳は出会いで育つ：脳科学と教育入門』青灯社（2005）

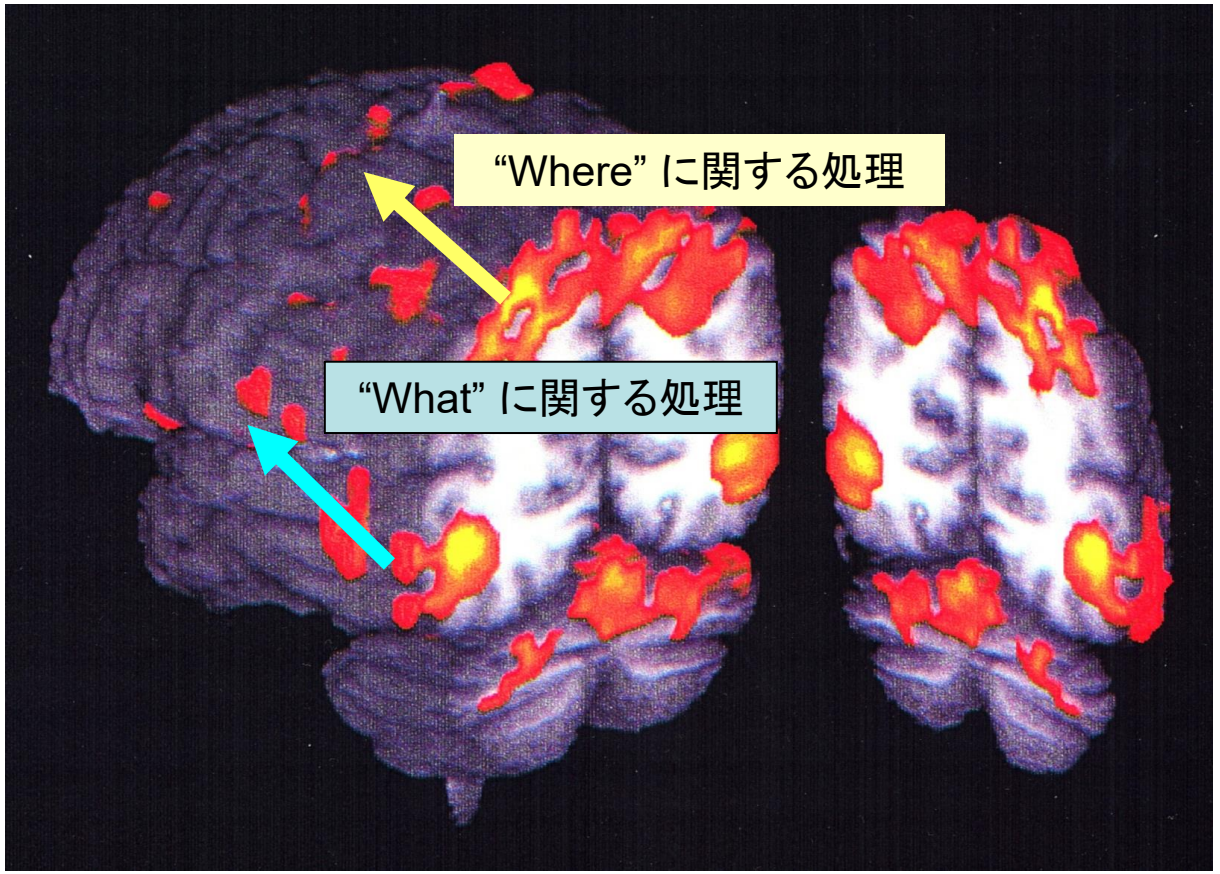
要素分解後、再構築された内部世界は外部世界と相違

相違を超えて結ぶものが言語

個人の内部世界形成 ← 統合 ← 超並列分散処理 ← 要素に分解 ← 脳膜上の外部世界

内部世界

個人の遺伝
子や養育環
境で構成内
容は異なる



外部世界

網膜から
視覚入力

Courtesy of K. Ugurbil, Univ. of Minnesota for fMRI data

並列分散処理の結果、意識下が生まれる

教育における意識下の重要性

水面上

水面下

意識上

時分割
逐次処理

意識下

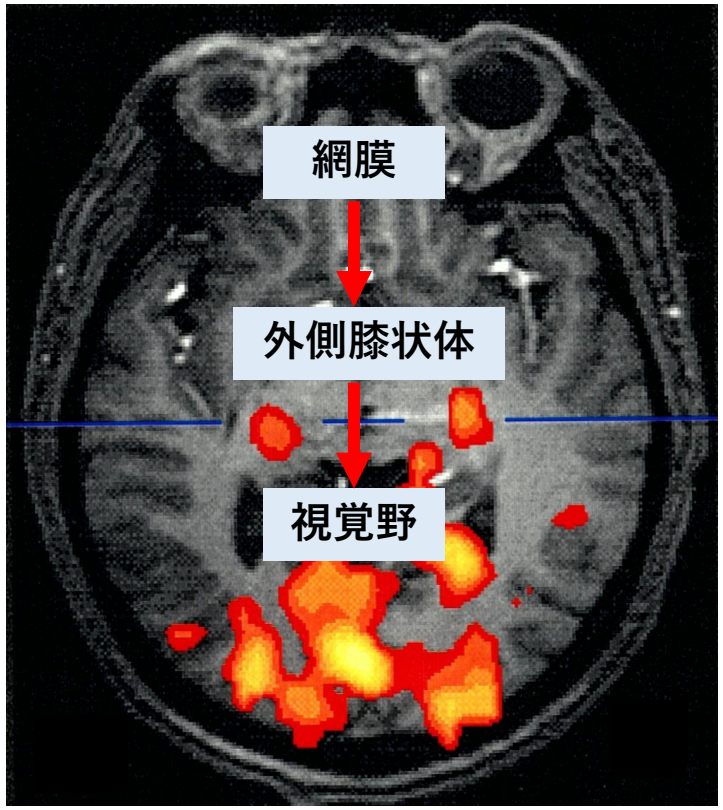
同時並列
分散処理

Es, Id

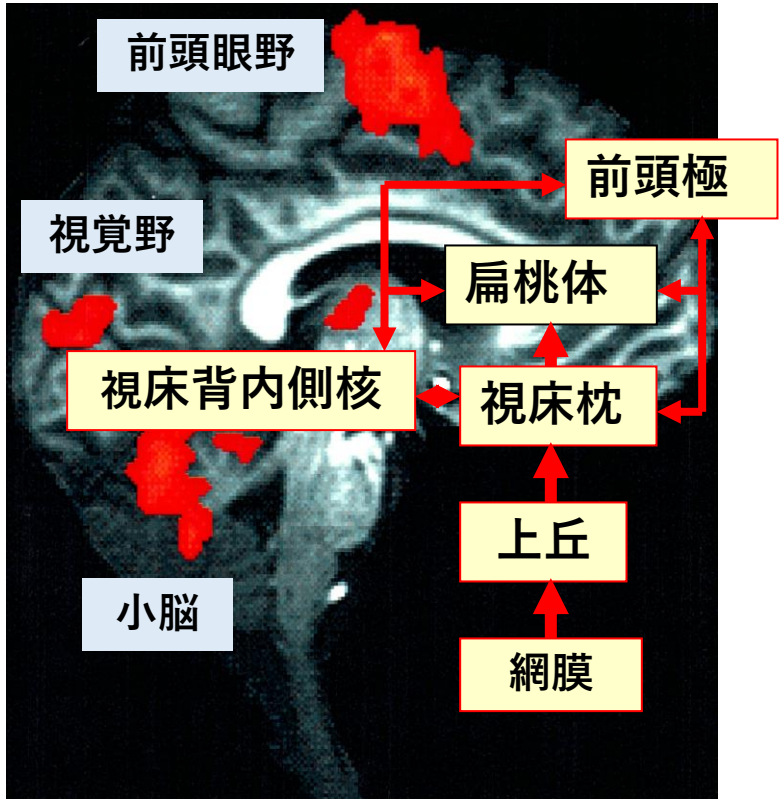
無侵襲高次脳機能イメージングは、
意識上／意識下の区別無く計測可能

小泉英明『脳は出会いで育つ：脳科学と教育入門』青灯社（2005）

2種類の視覚経路



膝状体視覚系＜低速高精度＞



膝状体外視覚系＜高速低精度＞
＜情動に関与＞

Nishijyo, H., *TD Symposium Series No.5*, JST (2008)

fMRI data: Courtesy of K.Ugurbil., Univ. of Minnesota

未来は身体表現のみでは伝達不可

パントマイムの観察
を続けた結果

↓

非言語表現で表現
できないのは未来

人間以外の生物で、
未来を具体的に想像
するのは不可能

H. Koizumi, Mind Morphology, *MIT/UT Symposium* (1997)

3カ月後

パントマイム公演で
使用されたプラカード

言語の特質

Productivity beyond reality
文法完璧かつ非現実的な文を作れる

Ex. “Colorless green ideas sleep furiously.”
(N. Chomsky)

直訳: 色無き緑の考えが猛烈に眠る

N. Chomsky, Logical Structures of Linguistic Theory (1955)

A meeting with Prof. N. Chomsky at MIT

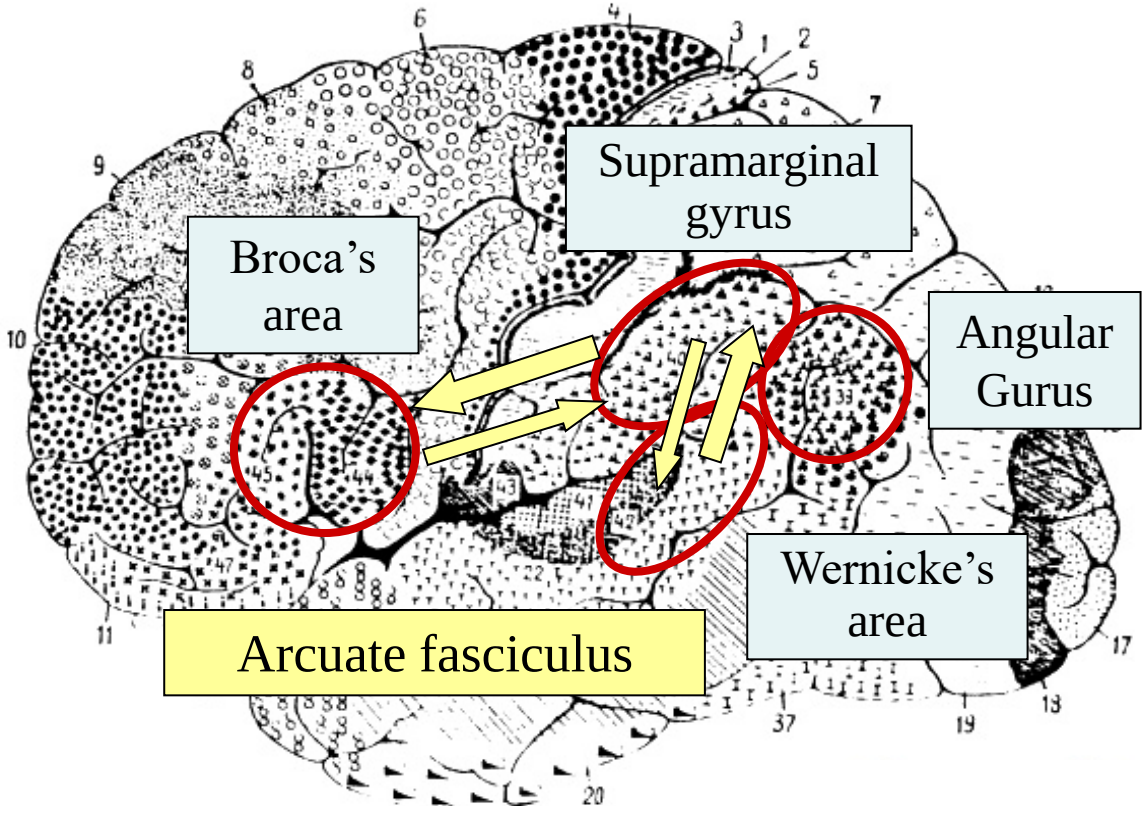
人間は言語次第で、未来を信じる事ができる

小泉英明：脳の科学史、角川書店（2011）

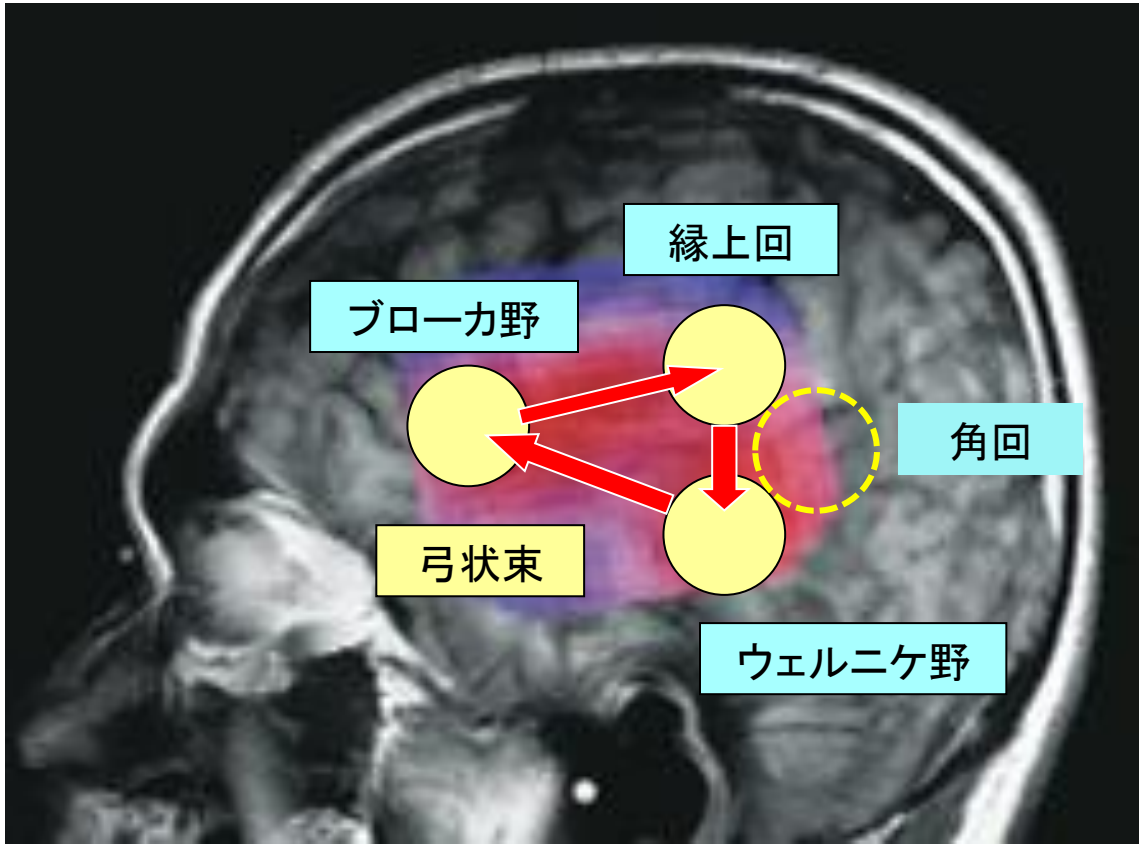
意識下の自動音韻ループの存在

言語機能は自動化し、意識下でも動く可能性有

Phonological loop below consciousness



音韻ループ



背景の画像は半透過MRIと書字光トポグラフィ
（E. Watanabe との共同研究, 1998）

水の中だけでの情報処理「生命の初期条件」　（オンディーヌ仮説）

脳の進化

情報伝達物質
水溶液中のイオン
（速度120m/sec）
伝達物質の拡散

無髄神経
↓
有髄神経
↓
跳躍伝導
↓
伝達速度100倍改善
髄鞘化の順番が
発達を決定

並列分散処理
↓
超並列分散処理
↓
意識下での情報取得
↓
感性

膝状体外視覚系が高速

逐次処理で意識上へ
↓
逐次処理の為、異なる二つの意識を同時に持てない
（時分割処理が必須）
↓
意識下の結果より遅延
↓
運動開始時の意識は後追
2値画像現象

＜進化の初期条件＞

外部世界と内部世界の不一致　⇒　言語による橋渡しとその限界

AIの発達

情報伝達物質
は金属中電子
（ほぼ光速）

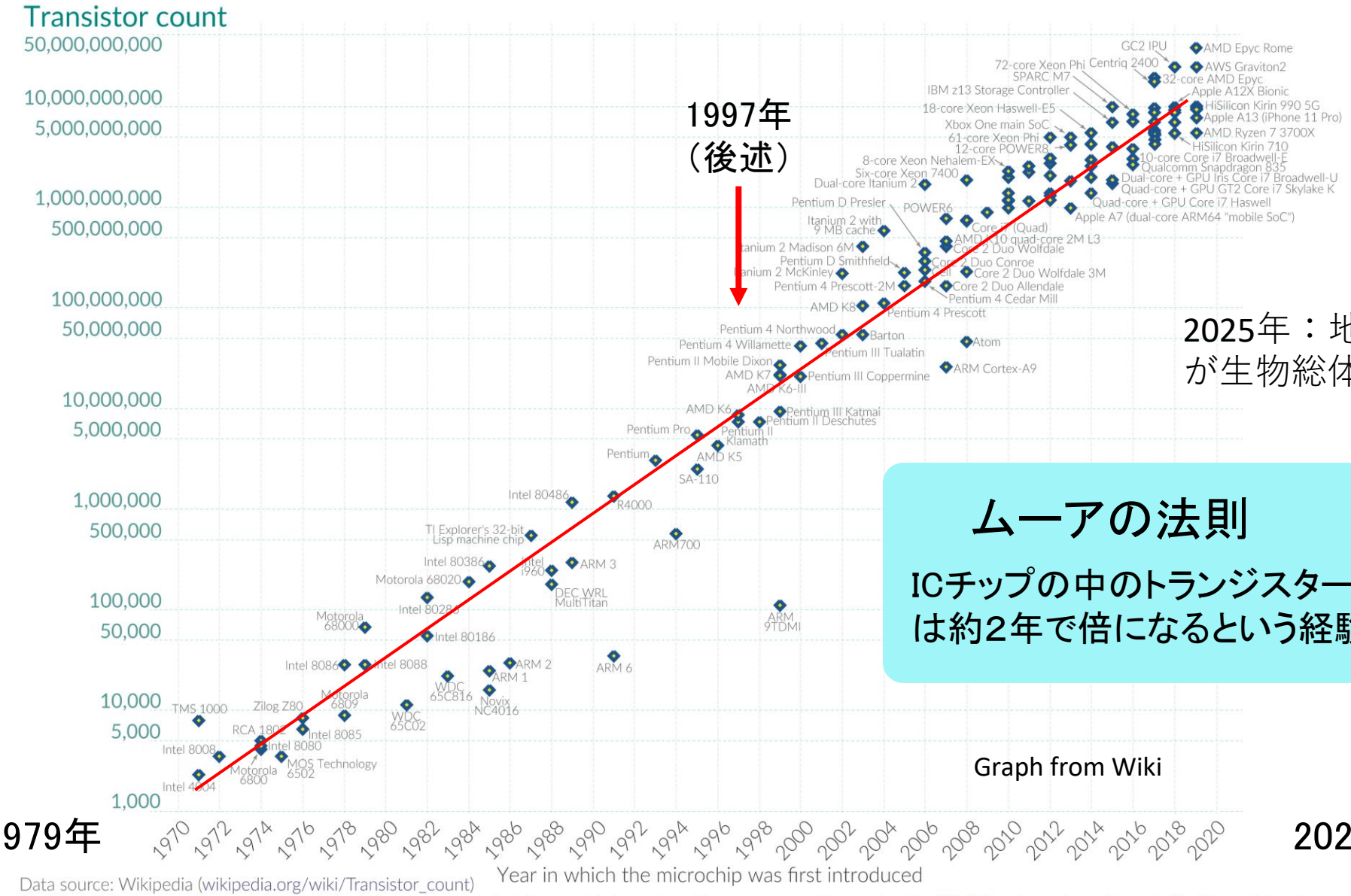
ムーアの法則で集積度増大
（単位面積あたりの素子数は2年で2倍）

構成論的な脳研究が可能

Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Our World in Data

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years.
This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.



2025年：地球上の人工物が生物総体の重量と同じ

ムーアの法則

ICチップの中のトランジスター数は約2年で倍になるという経験則

Graph from Wiki

1979年

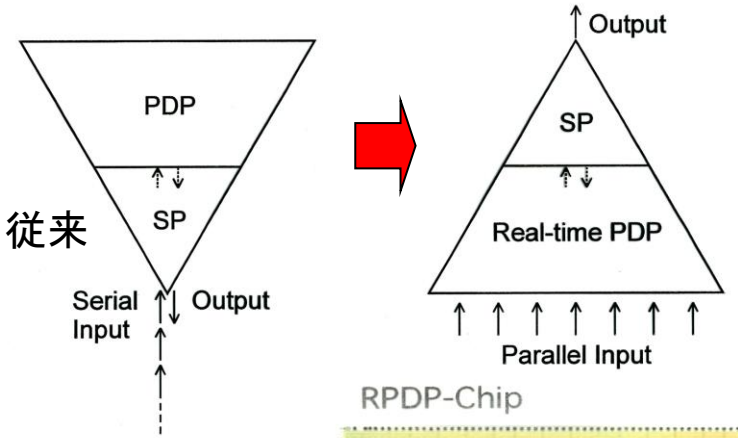
2020年

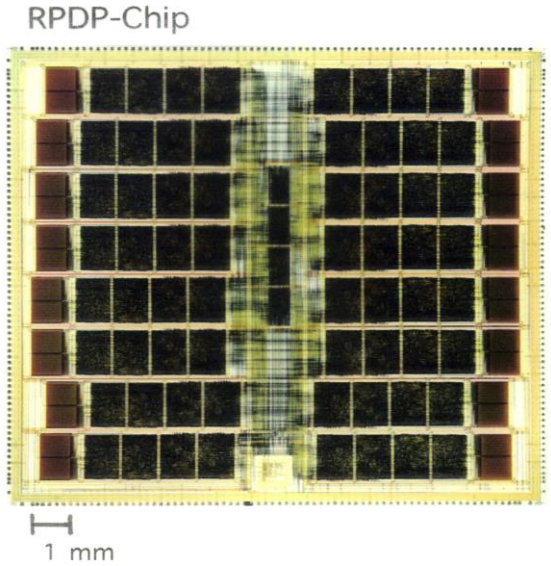
Data source: Wikipedia (wikipedia.org/wiki/Transistor_count)
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

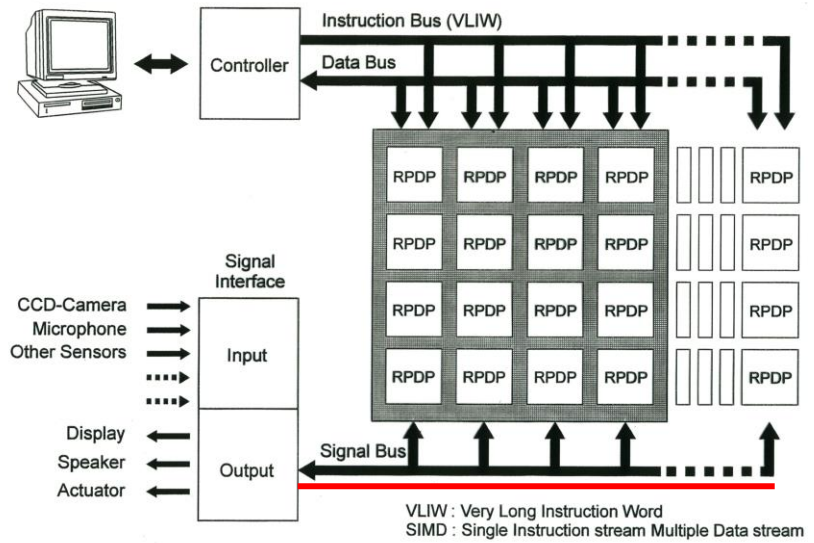
Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

新しい脳型コンピュータ（RPDP）のアーキテクチャー（1997年）

RPDP: Real-time Parallel Distributing Processor







Specifications of the RPDP Chip

Processing elements	16 RPDPs
Accuracy	32-bits floating-point & integer[1)]
Local Memory	32-bits x 1024-words x 16
External Memory	32-bits x 64-Kwords x 16[2)]
External Clock frequency	33 MHz
Internal Clock frequency	66 MHz
Supply Voltage	3.3 V
Process	0.35-μm CMOS 3-Al
Die Size	14.08 mm x 13.93 mm
Total Transistors	4.5-MTr.
Package	296-pin QFP[3)]

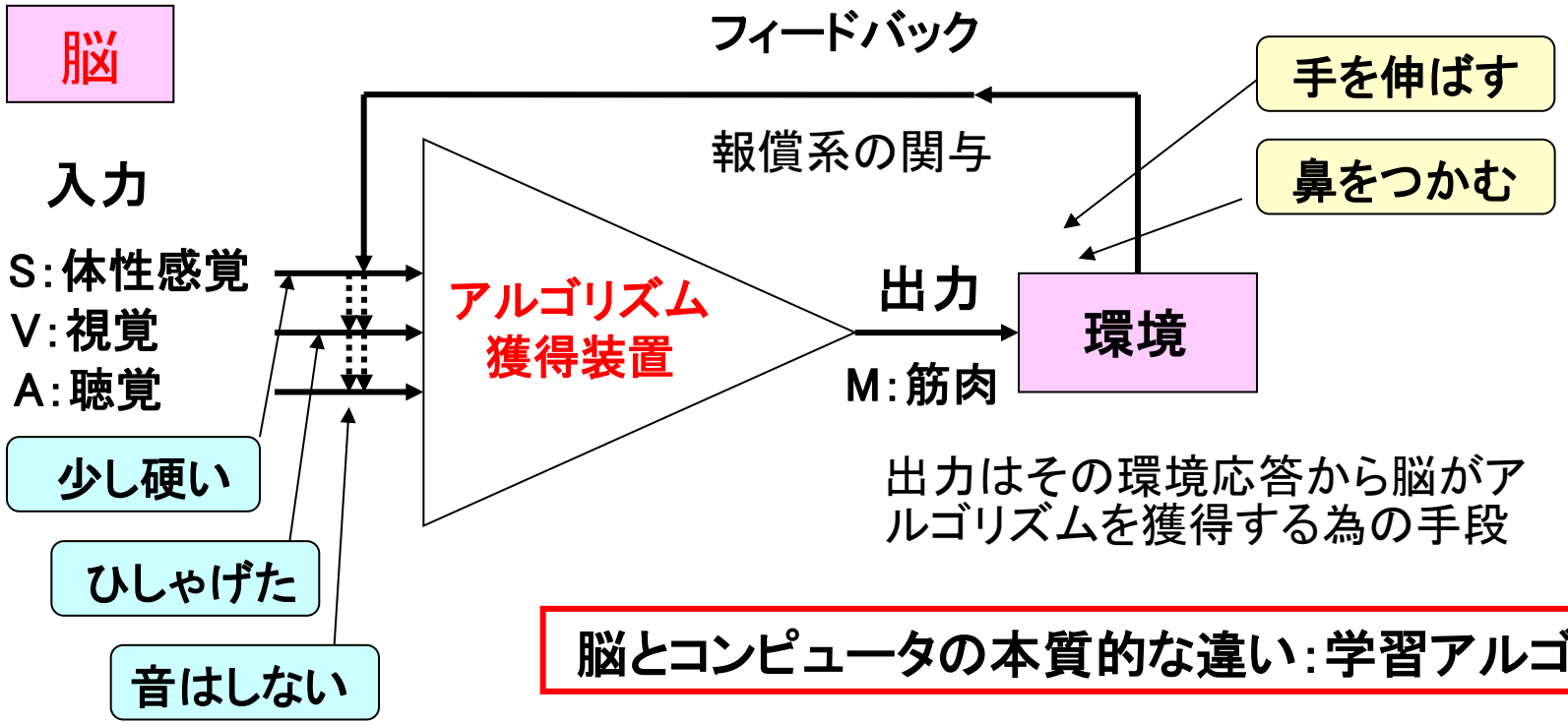
1) IEEE standard 754 2) Synchronous DRAM 3) Quad Flat Package

H. Koizumi et al (1998). Dynamic optical topography and the real-time PDP chip: An analytical and synthetical approach to higher-order brain functions. The *Fifth International Conference on Neural Information Processing*, 337–340.

生きるとは手をのばすこと
おさなごの指がプーさんの鼻をつかめり

意欲・情熱の重要性

俵　万智　（2004）

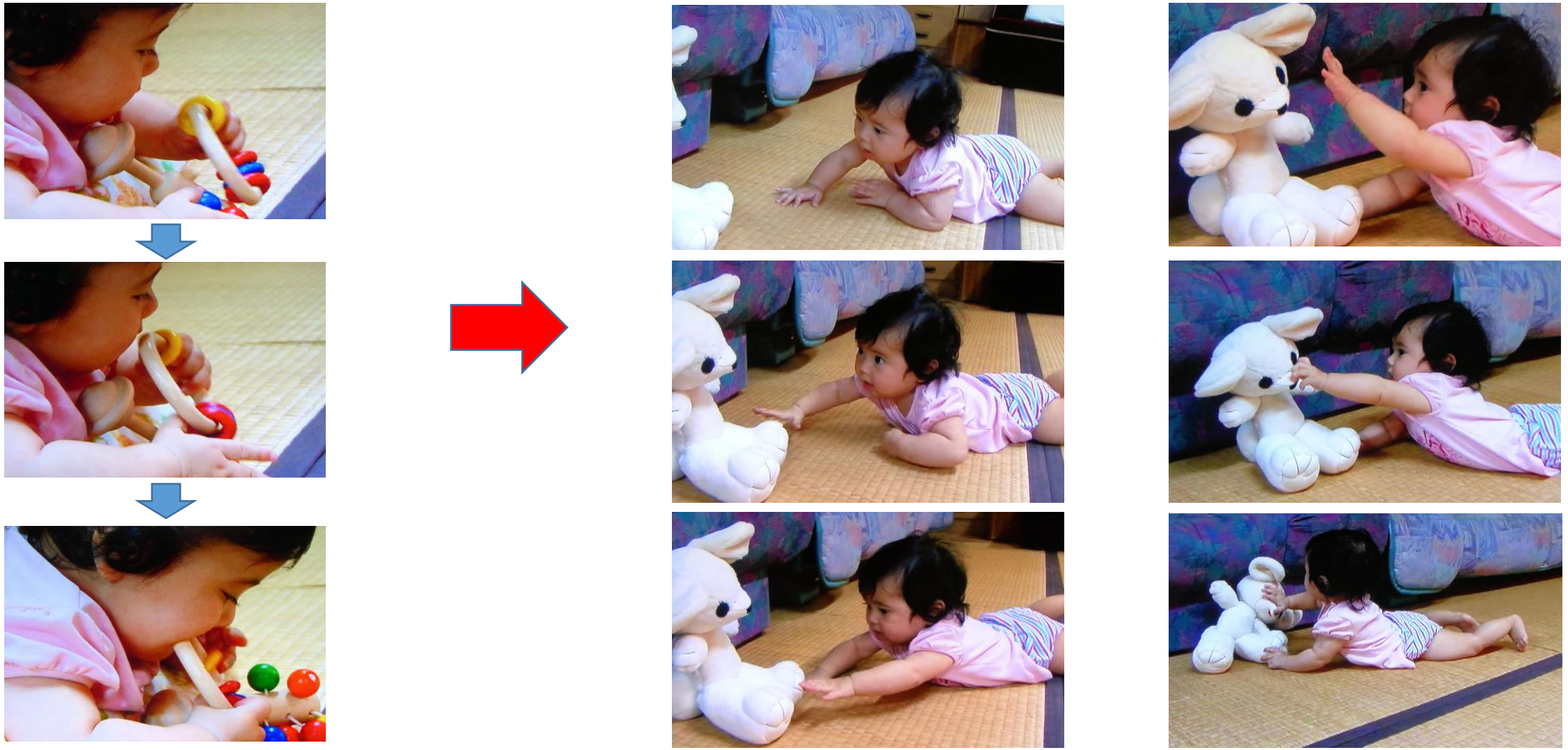


脳とコンピュータの本質的な違い：学習アルゴリズムは出力依存性

小泉英明『脳は出会いで育つ：脳科学と教育入門』青灯社（2005）
小泉英明編著『乳幼児のための脳科学』（映像：穂盛文子）、かもがわ出版（2010）

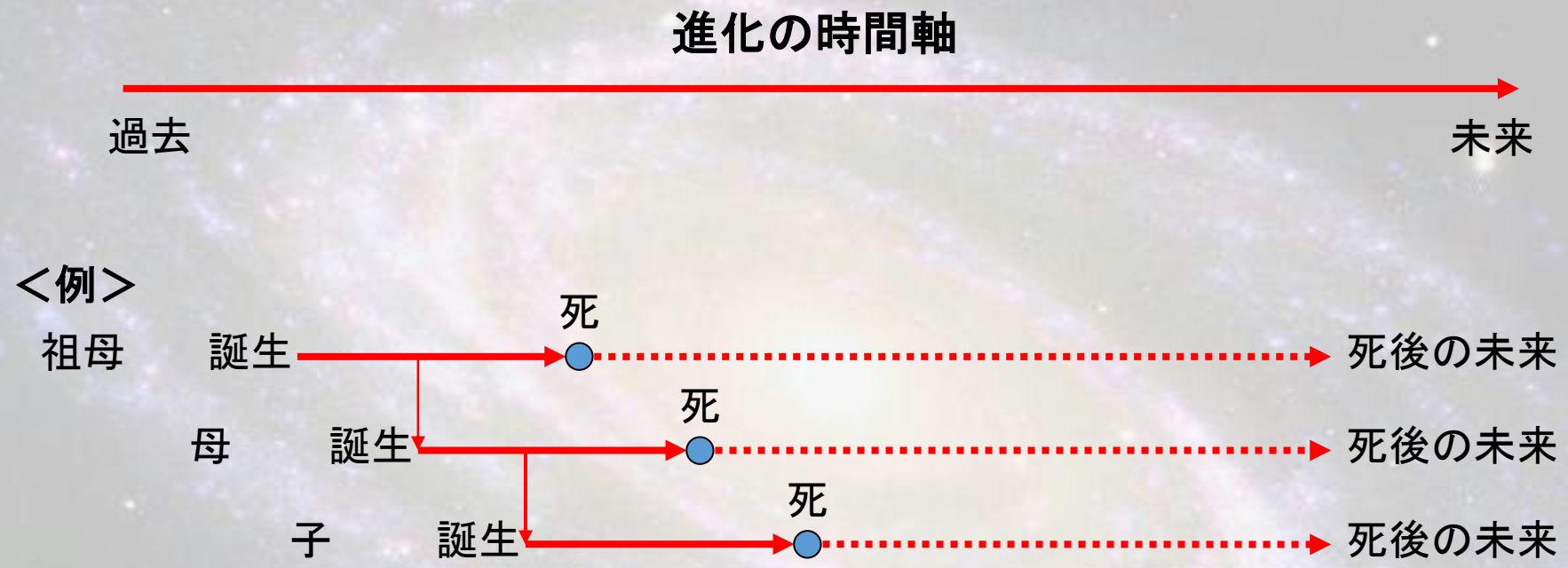
意欲・情熱の発露と行動

― 触覚・味覚を含めた5感による探索と空間移動への発展（ハイハイ）―



小泉英明編著『乳幼児のための脳科学』（映像：穂盛文子）、かもがわ出版（2010）

進化の時間軸に含まれる個体の誕生と死



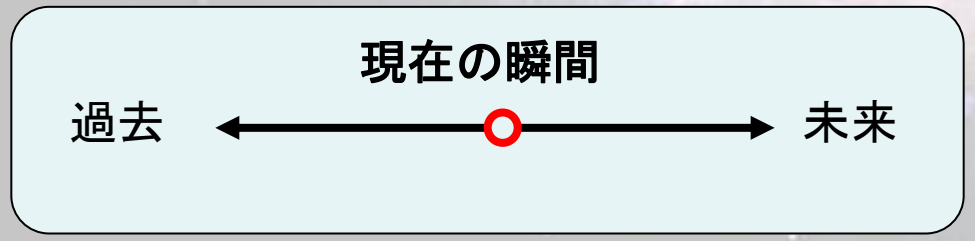
現世人類のみ未来をイメージ

死後の未来イメージ
による報酬系の賦活

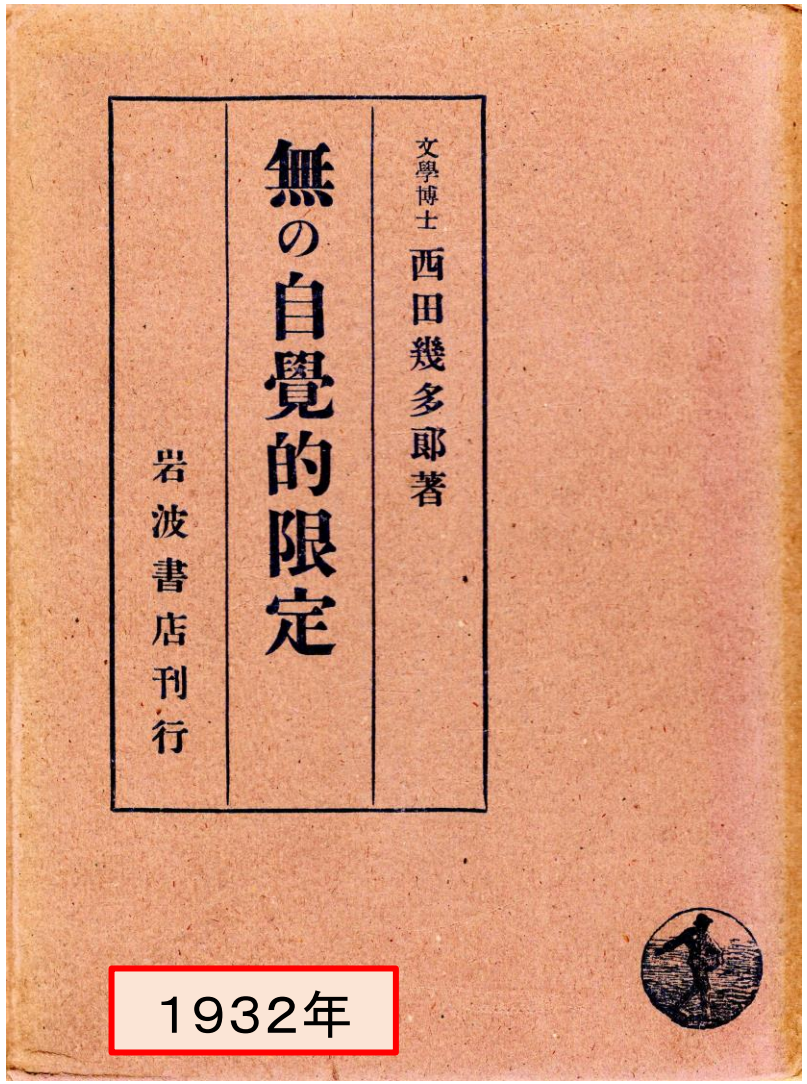
哲学と宗教

進化の時間軸に含まれる個体の時間軸

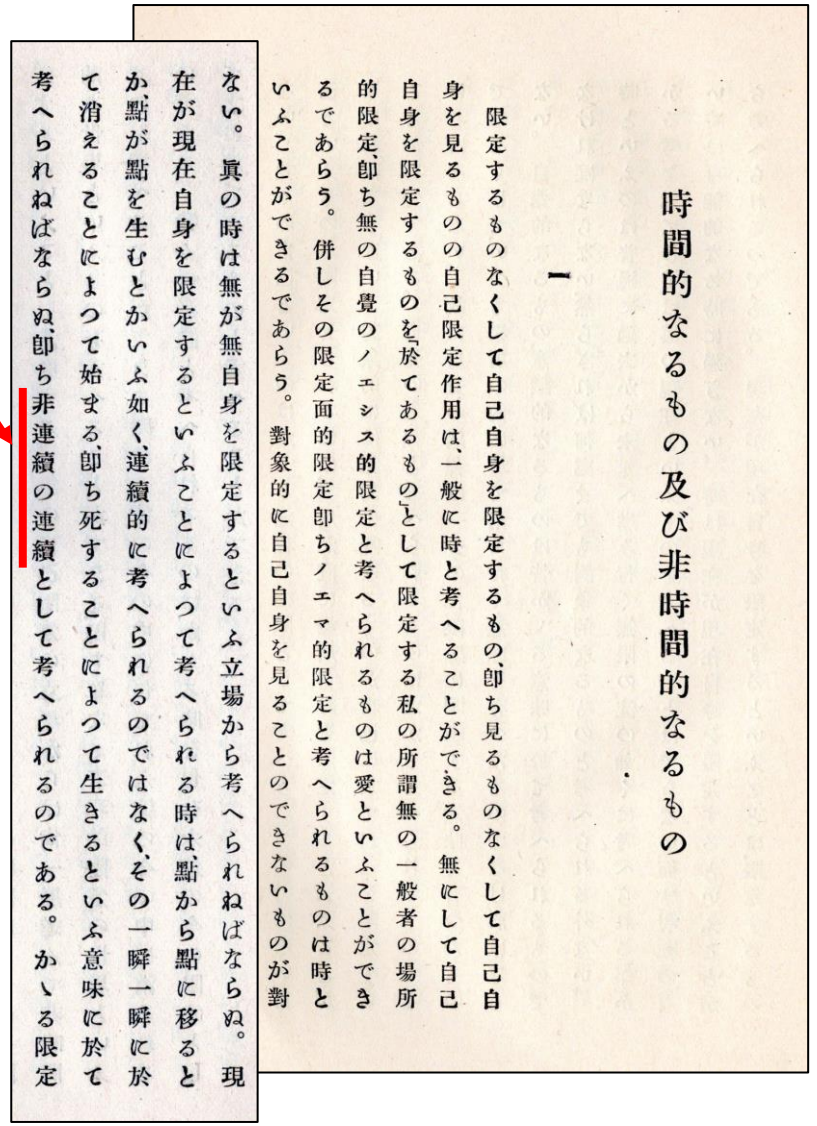
非連続の連続



「非連続の連続」概念の初出（1932年）



非連続の連続



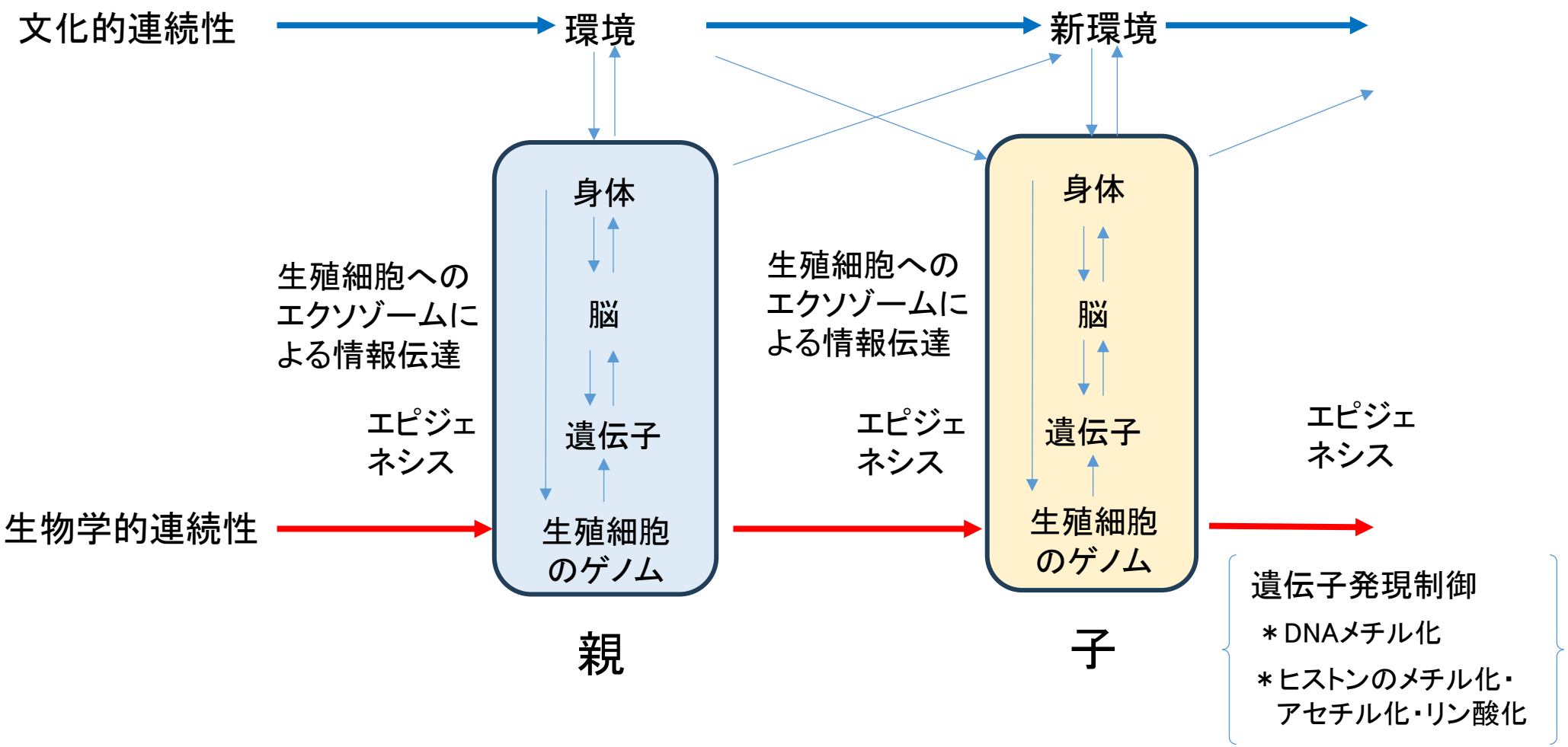
時間的なるもの及び非時間的なるもの

一

限定するものなくして自己自身を限定するもの、即ち見るものなくして自己自身を見るものの自己限定作用は、一般に時と考へることができる。無にして自己自身を限定するものを、於てあるもの」として限定する私の所謂無の一般者の場所的限定、即ち無の自覺のノエシス的限定と考へられるものは愛といふことができるであらう。併しその限定面的限定即ちノエマ的限定と考へられるものは時といふことができるであらう。對象的に自己自身を見ることのできないものが對

ない。眞の時は無が無自身を限定するといふ立場から考へられねばならぬ。現在が現在自身を限定するといふことによつて考へられる時は、點から點に移るとか、點が點を生むとかいふ如く、連續的に考へられるのではなく、その一瞬一瞬に於て消えることによつて始まる、即ち死することによつて生きるといふ意味に於て考へられねばならぬ、即ち非連續の連續として考へられるのである。かゝる限定

遺伝子発現能力のエピジェネティックな世代間伝達



セントラルドグマとエピジェネティックス

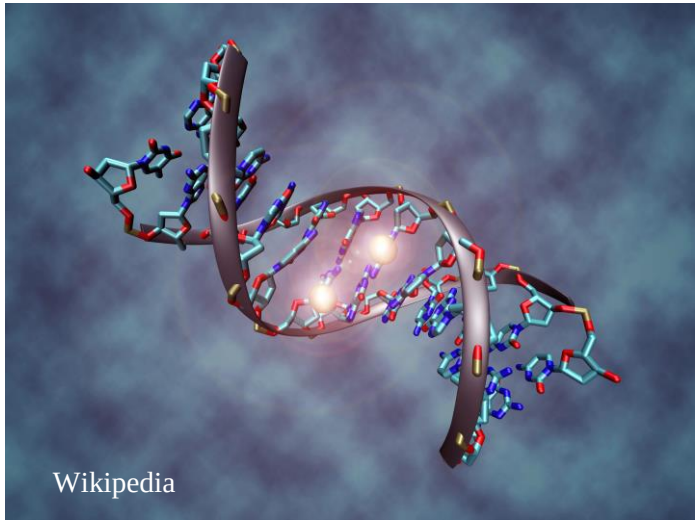
セントラルドグマによる遺伝形質の発現

DNA複製→RNA転写→タンパク質への翻訳→形質発現
＜DNAに記録されている遺伝情報が表現型として実現＞

エピジェネティクス

DNA塩基配列の変化を伴わない後天的な遺伝子制御の変化

DNAメチル化によるDNA発現抑制



ヌクレオソーム中のヒストンの化学的修飾

メチル化
アセチル化
リン酸化

本日の基調講演者とパネリスト

「乳幼児期の教育の大切さと場の働き」

多賀 厳太郎　東京大学　大学院教育学研究科　教授

ヒトは白紙（タブララサ）状態ではなく豊かな生得性を備えて生まれ、人間形成の初期段階から、唯一無二の存在として個性が深化し、環境との相互作用により共生の場が拡がる。乳児の睡眠や運動など日常行動において、自発活動を基盤とした行為と知覚が生じ、記憶や主体が作られ、個性が創発される。発話生成を担う調音器官の運動、胎児の脳ネットワーク形成、化石人類や古代・中世日本人の脳の分析により、発達人類学の構想を進め、脳や身体の発達と進化のダイナミクスを解明し、新たな人間形成論を作る。

「教育によって社会実装される工学倫理」

安井 正人　慶応義塾大学 医学部 教授・小児科医、元KGRI所長

体内の９割が「水」である胎児は生まれる際、ダイナミックに変化する。「水」というものが体というシステムの中でいかに重要な鍵をにぎり、体に何が起こっているのか、水は誰でも共通して持っている溶媒だからこそ、その変化からさまざまな情報を得ることができる。細胞にある水分子しか通さない穴「アクアポリン」というたんぱく質の役割や調節の仕組みから「発達」の研究を進めている。将来の健康促進に繋げることも視野に、体内に存在する「水」を通して複雑な生命現象全体を全体のまま理解することに挑む。その過程から教育における示唆を考える。

安梅 勅江　（リモート参加）

筑波大学 医学医療系 国際発達ケア:エンパワメント科学研究室 教授

赤ちゃんのパワーに触れたことをきっかけに、子どもの未来をひらくエンパワメント（湧活）科学を研究。子どもからお年寄りまで、一生涯にわたる発達を踏まえながら当事者の力を引き出させるようなポジティブな力を科学する。著書に、『共創ウェルビーイング　みんなでつむぐ幸せのエンパワメント科学』、『子どもの未来をひらく エンパワメント科学』（日本評論社）など。

星野 歩子

東京大学 先端研 教授

全ての細胞から産生される微小胞であるエクソソームが、臓器特異的な転移や自閉症など、原因や機構が解明されていない疾患を引き起こす影響力を紐解き、将来的に治療につながるパラダイムシフトを起こすことをめざす。研究には知の探求、社会貢献、教育それぞれの相互補完が重要と考える。

太田 博樹

東京大学 理学系研究科　生物科学専攻　ゲノム人類学研究室　教授

古代ゲノム分析を中心とした人類の多様性および進化を研究。「ヒトとはどんな生物か？」という根源的な問いに挑戦し、ヒトゲノム情報の安全かつ正しい活用に役立つ学問をめざす。著書に、『古代ゲノムから見たサピエンス史』、『ゲノムでたどる　古代の日本列島』など。

杉山 正和

東京大学 先端研　所長/エネルギーシステム分野　教授

地球上の多様な存在とその価値を包摂し調和のとれた社会を築く科学技術をめざす。

小泉 英明

日本工学アカデミー PJリーダー、東京大学先端研フェロー、日立製作所名誉フェロー

学習に関わる乳幼児の脳の仕組みから「新人間学」「脳科学と教育」「進化教育学」など新しい学術分野の創成に寄与。

社会倫理と個人倫理の相克（倫理の巨視的な視座）
―相克を取り上げる歌舞伎の例―

『忠臣蔵』

歴史事実：討ち入りを果たした赤穂義士の処分に幕府は困窮した。

幕府の儒学者室鳩巣（むろきゅうそう）は個人倫理の視座から武士道の手本として義士士を擁護した。
一方、幕府の儒学者荻生徂徠は、社会倫理の視座から、47名による秩序騒乱の罪を主張した。

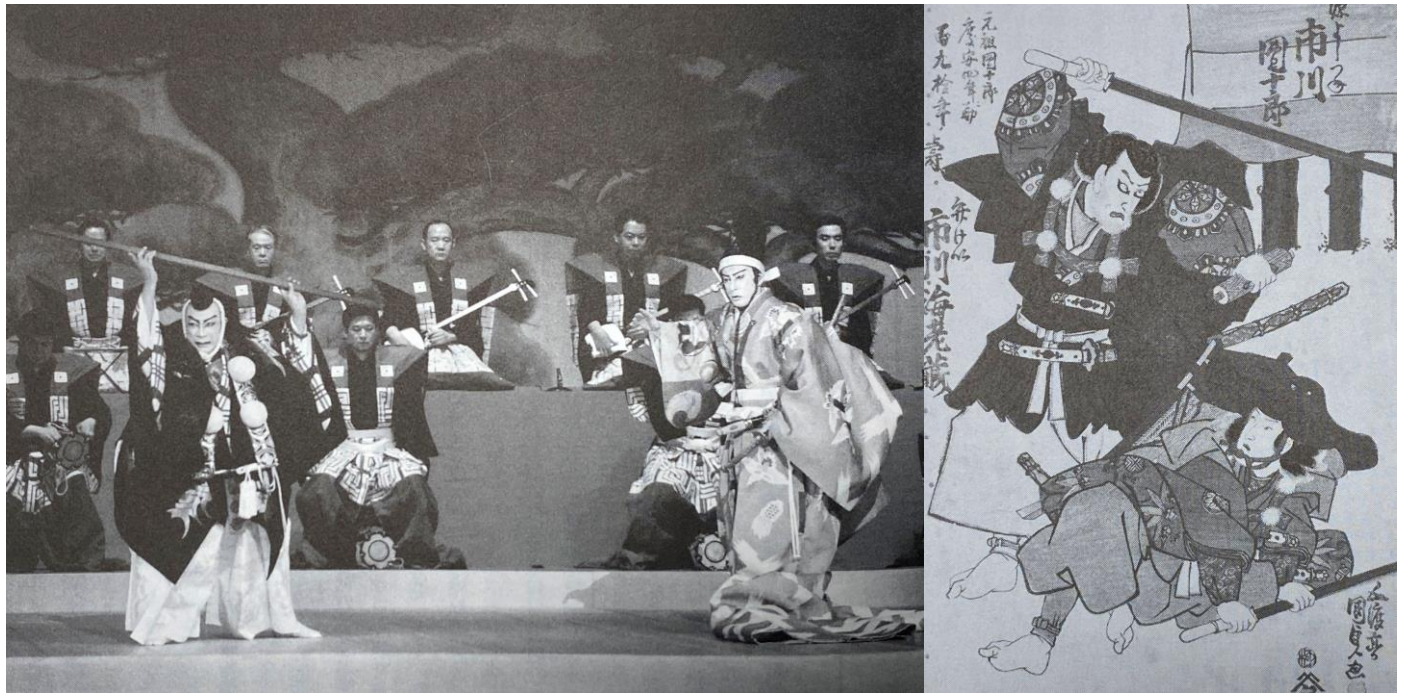
切腹という裁定は、責任死の中に社会倫理を満たしつつ、名誉ある個人倫理の完成という形とされる。

（幕府は決定までに一か月半を要している）

山中良知、社会倫理学の基本的問題：社会倫理と個人倫理、関西学院大学社会学部紀要（1967）

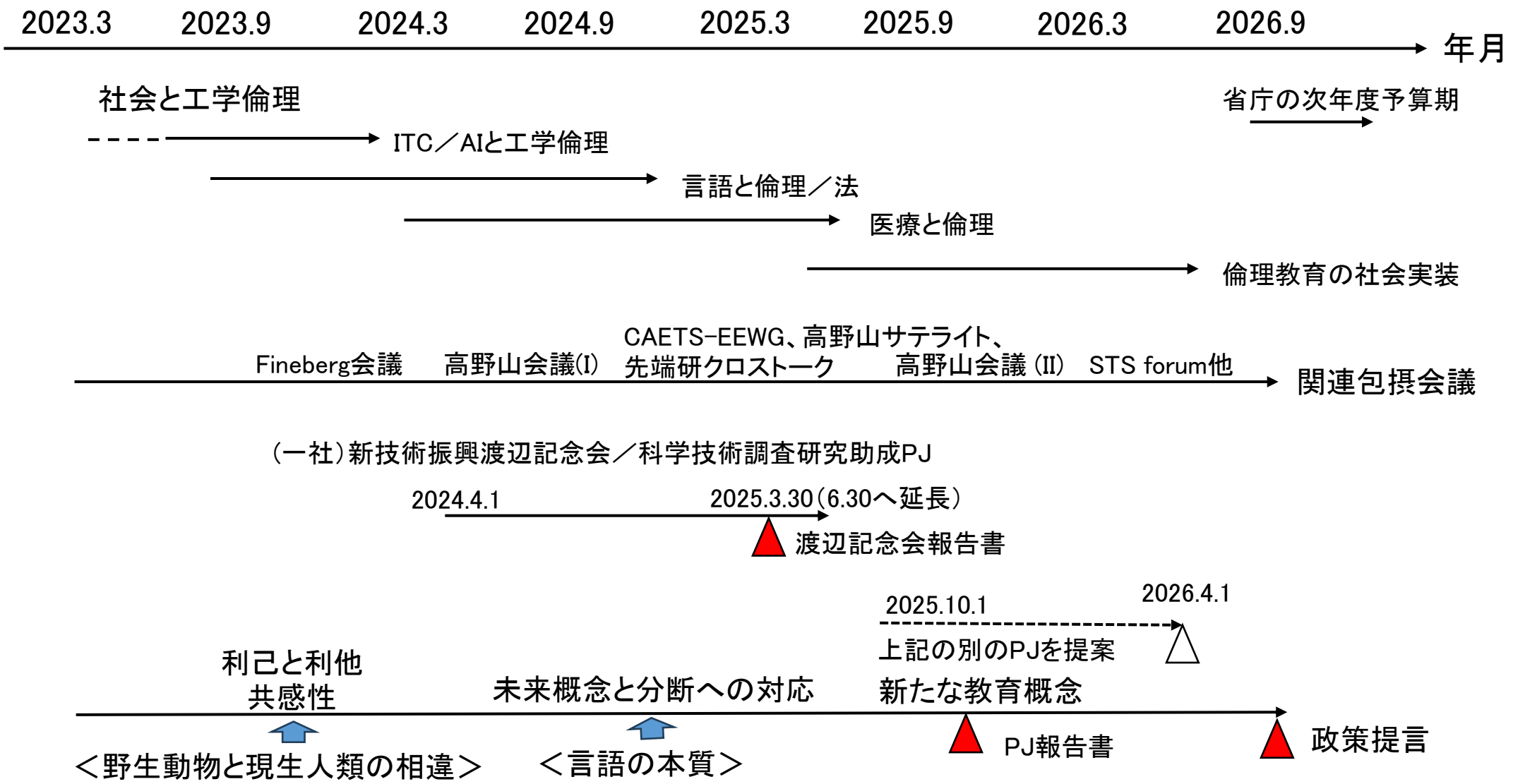
『勧進帳』

兄源頼朝に追われて弟義経が奥州へ逃げる際、安宅の関所で関守の富樫に見破られ、弁慶は主君義経を打ち据える。それを見て感動した富樫は、命を賭して黙って一行を見送る。



市川團十郎・小泉英明共著『童の心で』工作舎（2012）

EAJ-PJの骨子と工程表



ご清聴に深謝いたします!

Photo by H. Koizumi