

放射線の生体影響解明への 分野横断的検討

日時：2019/05/23 --- 2019/05/25

場所：京都大学基礎物理研究所

研究棟 K206

連絡責任者氏名：和田隆宏

wadataka@kansai-u.ac.jp

提案説明者氏名：坂東昌子

bando@yukawa.kyoto-u.ac.jp

実際にはプログラムその他、真鍋さんが取り仕切り

EU MELODI に続く国家的研究プロジェクトへ

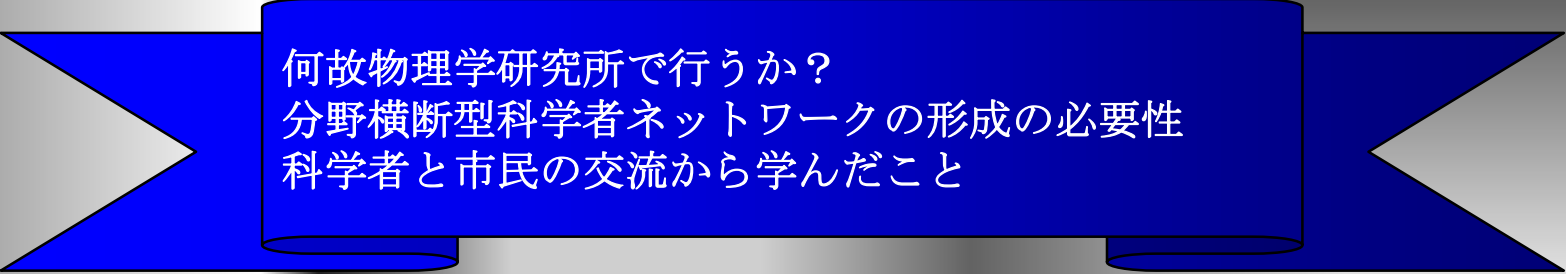
➡参加者の創意を十分に発揮できるような研究会

1月 プレ研究会 科研費＋機構予算

5月 基研研究会・基礎的アプローチから医療へ

7月 機構・核物理センター・医療課題から基礎科学へ

物理屋が生物研究に関わって
これまでの取り組みを振り返る



何故物理学研究所で行うか？
分野横断型科学者ネットワークの形成の必要性
科学者と市民の交流から学んだこと

3・11直後 学生とともに異分野交流;毎日夜遅くまで議論



3・11直後 市民講演会・・市民とともに考える



まとめ

- 低線量放射線(<~200mSv)は、世間で恐れられているほどには、怖くない
- なぜか？

1Sv(シーベルト)=1,000mSv(ミリシーベルト)
=1,000,000マイクロSv

- 「原子力・生物学と物理」 2012年8月8－10日（原子力との連携）
- 生物・医学を物理する 2015年11月（医学物理との連携）
:放射線と物理、医療を物理する、生命システムのモデリング



Low Dose Radiation Effect 2015

Biological & Medical Science based on Physics 2015
special session.

Autumn, 2015
Yukawa Institute
for Theoretical
Physics,
Kyoto, Japan



First Circular

Biological risks of low-dose radiation in radiation biology are been extensively investigated and the study of biological defense system has been developed especially during the last 20 years. However, those findings are shared only to those of limited fields. As a result, extreme opposite opinions divided scientists into two sides, which caused confusion to people in Japan especially after the Fukushima dai-ichi nuclear power plant accident.

It is seriously needed scientific discussion independent of political bias, among the scientists cross over the disciplines..

The purpose of this special session is to exchange the scientific views among scientists from different fields, biology, physics, epidemiology, medical science and so on. It would enhance the scientific understanding and reduce uncertainties on the effects of exposure to low dose radiation, providing the society with important information to improve risk protection management. Physicists tend to understand different phenomena in a unified way and to estimate quantitatively by using mathematical modelling and analysing accumulated data of radiation biology and epidemiology.

Let us gather multidisciplinary scientists and have hot discussion on low dose radiation risk in this conference, attempting to obtain the consensus among different fields.

We expect that it will lead new scopes of study of an academic area.

In the USA and Europa, national projects are already processed.

We, Japanese scientists who we experience a nuclear power plant accident of Fukushima, should make efforts to Promote such project in Japan.

We hope that this conference may become the first step of making purely scientific network.

日本物理学会京都支部・NPO法人あいんしゅたいん共催

「物理学」市民と科学者の勉強会 casnet

日時: 2014年8月27日(水) (13:00~16:00 無料・軽食あり)

場所: 京都大学医学部G棟3階 薬剤疫学教室

参加ご希望の方は、薬剤疫学教室(担当: 田中)までお気軽にご連絡下さい
(電話: 075-753-4468, メール: tanaka.shiro.8n@kyoto-u.ac.jp)

福島原発や認知症の増加など、報道で「疫学」や「統計学」という言葉を耳にする機会が増えてきました。社会的関心が高まる一方で、日本では疫学・統計学の人材は極めて不足しています。物理学を中心とする理系学生の皆さんに、疫学や統計学を学ぶことでどのようにキャリアパスが広がるかを知ってもらいたくて、この交流会を企画しました。少しでも興味がある方は、お気軽にお越しください。学部生、修士学生、ポスドクなど、どなたでも歓迎します!

プログラム

対象: 物理学を中心とする理系学生

プレゼンテーションでは、薬剤疫学・統計学の専門家が、この10年でどのような医学研究が社会が求めているか、データベース活用型の研究や事業がどのようなものか、臨床試験の領域でどのようなキャリアパスがあるかについてお話しします。その後、軽食を交えながら自由に議論・歓談します。

13:00~13:10 挨拶(坂東)
13:10~14:00 プレゼンテーション+質疑「医学研究の将来」(川上)
14:00~14:30 プレゼンテーション+質疑「臨床試験と統計学」(田中)
14:30~16:00 フリーディスカッション(軽食・お菓子付)
16:00 閉会

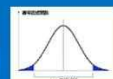
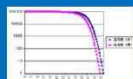
主催: 日本物理学会京都支部・NPO法人あいんしゅたいん

オーガナイザー: 坂東昌子(NPO法人あいんしゅたいん)

川上浩司(京都大学大学院医学研究科 社会健康医学系専攻 薬剤疫学)

実務担当: 田中司朗(京都大学大学院医学研究科 社会健康医学系専攻 薬剤疫学)

実務補佐: 今井匠(京都大学大学院医学研究科 社会健康医学系専攻 薬剤疫学)



Medical Physics

Present Status and Future

JPSkyoto/

Osaka

JPS Career Center

(Fukushima)

NPOあいんしゅたいん

Kyoto Univ. Career Support

Date 2th, Nov, 2014 13:00~13:10

Lecture

M. Abe

Honorary Prof. of Kyoto Univ. advisor of Hyogo

K. Inamura

(Honorary prof of Osaka Univ.)

A. Haga(Tokyo Univ)

J. Kotoku(Teikyo

T. Suzuki(Hiroshima Univ.)

A. Saito(RTQM)

基礎資料作り（あいんしゅたいん事務所）

- ・パンフレットづくり（2013年3月最終作業）
- ・市民と科学者の共同作業



Booklet
Explaining
what is
whole
body
counter
for
Evacuees
from
radiation
exposure

ホールボディカウンター 検査とは？

検査結果の理解のために

原発事故で放出された放射性物質。
私の体の中はどうなっているの？
ホールボディカウンターで検査してほしい。
そう思っているあなたへ



Book providing a review for citizens



**32 Essential data of biological
effects caused by irradiation
Tanaka comments**

JSPSの取り組み

放射線の影響とクライシスコミュニケーション 2013年8月

「放射線の生体影響に関する分野横断的研究」 2015年10月

「International Workshop on Biological Effects of Radiation –bridging the gap between radiobiology and medical use of radiation-」 2018年3月

ナンバー員会 2019年4月

「放射線の利用と生体影響委員会」

多様性をイノベーションに繋ぐ要因の研究と新たな評価法の提
案 2018年4月

Common Platform for the study of Biological effects caused by Irradiation

学術振興会産学連携委員会

Multidisciplinary research committee was organized by
JSPS(Japan Society for the promotion of Science) committee



chaired by

**Mutual
Intensive
Discussion**

Wada

**Animal exp.
data**

放射線影響に関する
知見の統合



**Epidemiological
data**

**Integrated Mathematical Science
Exact Information of Dosimetry**

スケジュール

1. 2019年1月14日 情報交換会

2. 2019年度春

京大基礎物理学研究所研究会 ヒアリング 1月24日

基礎的アプローチ(生物学・疫学・物理学を主題)研究会
(申請中 責任 坂東昌子:連絡責任者:和田隆宏)

・佐渡敏彦氏を囲む勉強会(1月25日26日)

・アセスメント・EBR(EBMに倣って)

3 長我部・米倉・有本氏を講師に市民科学者の討論会

4. 2019年夏:大阪大学にて医理核連携

(参考:<http://medsci.prc.sci.osaka-u.ac.jp/>)

医理核連携をテーマとした研究会

5 ネットワークのセンター:大阪大学放射線科学基盤機構

6 JSPS:ナンバー委員会設立決定(2009年4月)

物理屋が生物研究に関わって
宇宙・人間・素粒子
基研申請書より

何故物理学研究所で行うか？
分野横断型科学者ネットワークの形成の必要性
科学者と市民の交流から学んだこと

1

物理屋の
思い込み
乞うご批判！

生物と物理：動機

- ・繰り返しのない規則⇒情報 ゲノム解読(和田)
- ・自発的運動⇒soft matter, active matter(大沢)
- ・放射線による変異⇒分子生物学の誕生
- ・変異の起源⇒量子力学を超える新しい法則
- ・ミクロとマクロ⇒生命の本質 進化

動機

放射線の生体影響、特に、低線量・線量率の領域は、影響が少なく実験で検出することが困難であり、疫学的なデータも得にくいいため、定量的な理解が難しい。そして、ほぼ半世紀、LNT(リスクは、総被ばく線量について直線閾値なし)仮説が放射線防護の指針となってきたが、これには、その後の膨大な実験データの成果が反映していない。そして、近年、放射線医療や放射線利用、原子力エネルギーの活用や放射性廃棄物処理などの課題と連動して、国際的に見直しが検討され始めている。

日本では、2011年3月11日のTEPCO事故以後、多くの科学者が、放射線の生体影響の問題を深刻に受け止め、放射線生物学と言う草創期は物理学者達が活躍していた分野に久方ぶりに参入し、新しい数理モデルを提案し、様々な学会から招待され、更なる成果を期待される成果を挙げた実績がある。また、**放射線治療**に対する関心が深まり、物理学会からも医学物理方面への研究者も増加し2003年以来すでに70名近い専門家がこの方面で活躍している

当課題の研究の歴史を辿ってみると・・・

放射線の生体影響という課題は、
当初から、生物学と物理学との
出会いから始まった！

研究会申請書より

遺伝学者マラー(1946年ノーベル生理学・医学賞)が、ショウジョウバエへのX線誘発突然変異を発見したのは1927年だった。自然突然変異に加えて、人口による突然変異が生じる、というこの発見は、世界の科学者に衝撃を与えた。「Physics and Genes: From Einstein to Delbruck」(“Creating Physical Biology”chapter 2)によると、

この驚きはコペンハーゲンのボーア・シュレディンガー・デルブリュック達物理学者を大いに刺激し、「これこそ、生命の神秘を解くカギになる」と連日熱い議論が戦わされた。

特に、ボーアに触発されたDelbruckは、1935年、K.Zimmer(物理)とN.T. Timofeeff(生物)の3者で、分野横断的連携の成果として、“On the nature of Gene Structure”(TMPと言われている)を発表した。この仕事はワトソン、クリックによるDNAの発見を呼び分子生物学を誕生させ、Delbruck、Luriaらの理論は生物物理学の誕生へとつながったのであった。さらに、1946年には、原子核物理学者.E.Leaが「標的理論」という数理モデルをDelbruck、Luriaらの理論を改良することで提唱し、放射線による細胞死の定式化が完成した。これは今も、放射線生物学の基礎方程式となっている。

研究会申請書より

- 放射線生物学→分子生物学
- 突然変異の起こる原因とその解明

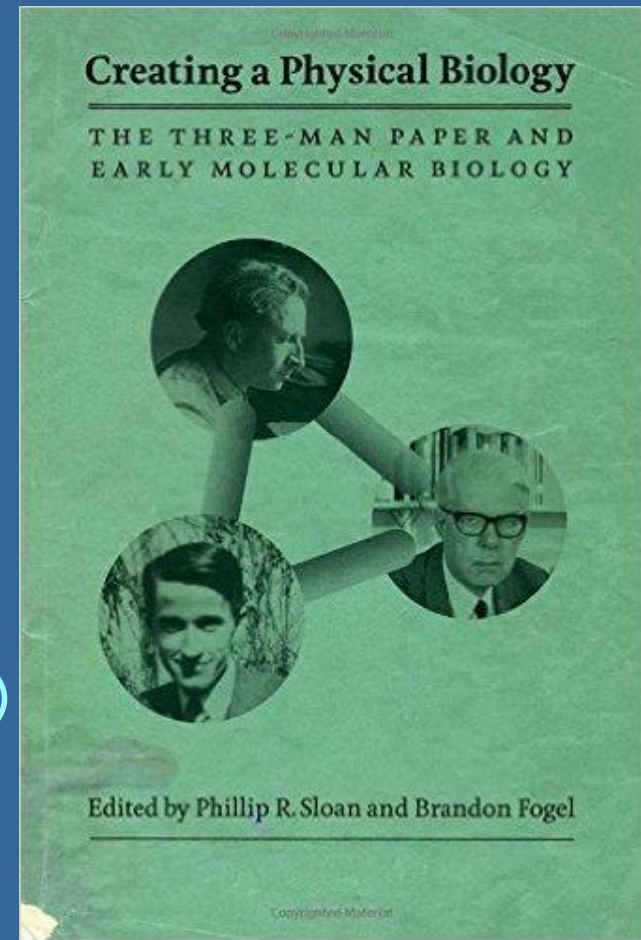
コペンハーゲンの精神

Dellbruck Bohr

Shrodinger Lea

生命とは何か

ミクロ
ヒット理論



Landmark of Molecular Biology:

1935 Gottingen Academy of Science

“On the nature of gene mutation and gene structure”

1 bold attempt to tackle a biological problem

with a new set of tools

2 Conscious collaboration between a geneticist,

a biophysicist and an atomic physicist

また、日本でも、放射線の生体影響の研究は、物理学と深いつながりがある。1923年から数年間ニールス・ボアの下で研究に勤しんだ仁科芳雄は、1937年理研サイクロロンが稼働するとすぐ、原子核研究室の

村地孝一に中性子を生物に当てる実験を勧めた
(Nature 140(1937年))

近藤宗平(京大理物理学出身)も、広島原子爆弾投下京大原爆物理調査班に学生として参加した1人であるが、核物理学から遺伝学・基礎医学に転向し、国立遺伝学研究所室長、大阪大学教授を務めた日本での放射線物理学の創始者である。彼は、「**放射線を照射された物質の側に起こる物理的,化学的,生物的效果**」、すなわち、

放射線照射過程(物理的)→1次反応(物理化学的)

→2次反応(生化学的)→生物のレスポンス(生物的)

という4段階に焦点を当てた研究方針を打ち立てた。

一方、当時の成果を、突然変異が進化の原動力として、グローバルな進化遺伝学と結びつけたのは**木村資生**である。

医療との連携は**阿部光幸・管原努**の共同研究から始まっている！

理研の仁科芳雄

日本でも・・・

1923年から数年間：
ニールス・ボア教授のところで勉強

1937年 理研サイクロトロンからビーム

4月3日の朝のことだが、先生は早速原子核研究室にいられた村地孝一氏にこのビーム（中性子）を生物に当てて結果を出すようにいわれた。

➡ (Nature 140(1937年))

日本物理学会誌 45巻(10号)特集「仁科芳雄生誕百年記念」(1970年)

https://www.nig.ac.jp/museum/material/moriwaki_list19.html

http://ci.nii.ac.jp/els/110002068646.pdf?id=ART0002200018&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1472795924&cp=

物理の立場から

放射線の生体影響に関しては、これまで放射線生物学、放射線医学等、疫学など他分野にまたがって蓄積されたデータが存在する。しかし、物理学の観点から見ると、それらは現象の記述にとどまっているものが多く、

分子生物学や基礎生物学の知見を考慮し、機序を明らかにし、数量化し、数理モデルを構築するという試みが、長い間行われてこなかった。

言うまでもなく、物理学は、個々の現象の中から共通の法則を抽出し、統一的理解を目指すというサイクルが、早くから確立されている分野であり、かつ、それを自然現象の言葉ともいえる数式を用いて、数量的に理解し数理モデルを構築して、そのメカニズムを表すだけでなく、そこからさらに、予測し、検証することで、科学的知見を高めてきた分野である。このようにして、物理学の対象を宇宙・生命現象・社会現象にまで広げ、境界領域を広げ挑戦してきた歴史がある。現在蓄積されている放射線の生体影響については、これまで営々として蓄積された各分野の知見とデータを総点検し、そこへ物理的解析処方を導入することによって、この分野の新展開を成し遂げる可能性があると考え

研究会申請書より

国際情勢

放射線の生体影響、特に長期にわたる低線量率による被ばくの影響

LNT・LQMが放射線防護の基礎指針として採用されてきた

➡ ➡ 見直しが迫られている

再検討：放射線医療や放射線利用・原子力エネルギーの活用・放射性廃棄物処理

- EUをあげて、低線量放射線の影響・総合的分野横断的プロジェクト

- ➡ (MELODI) 2010年から実施

- ➡ 奨励賞を設けるなど後継者育成も視野に

- ➡ MELODI Int. National Workshop:

- ERPW (European Radiological Protection Week) 2016年から

- 2017年からは医療分野(EURAMED)とも連携 ➡ Bonn宣言

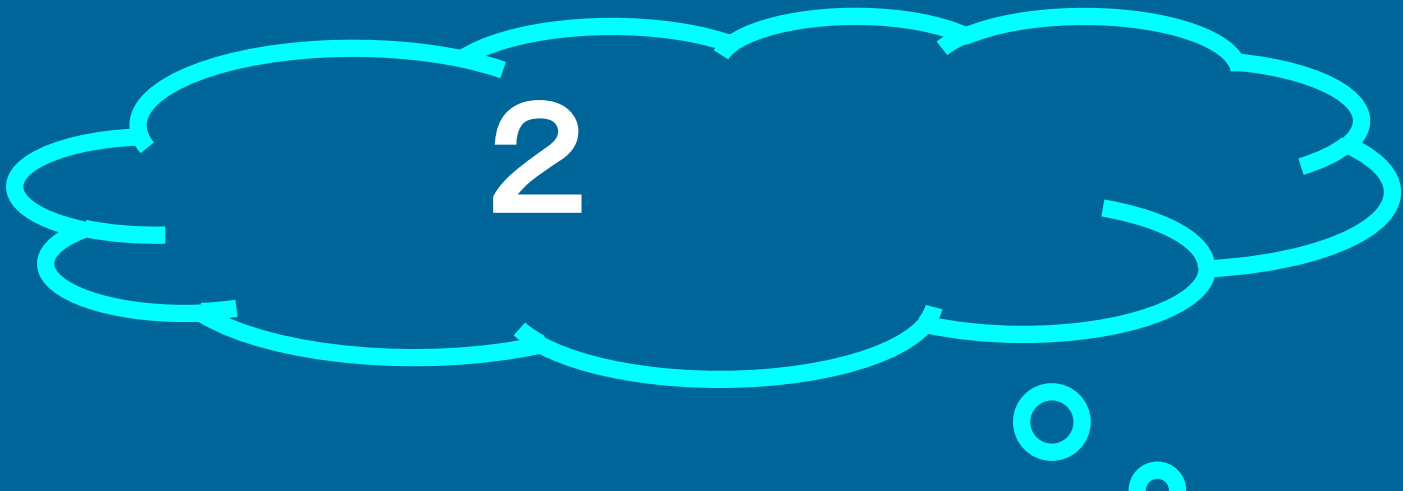
- 米国 IDEA Workshop (International Low Dose Alliance) 2016年から開催

- ➡ 一方、米国のEPAがLNT批判を正式に宣言

- その根拠がホルミシス効果の存在の主張にトランプ大統領も着目して
議会に参考人(Cerbirese)が招待講演 ??

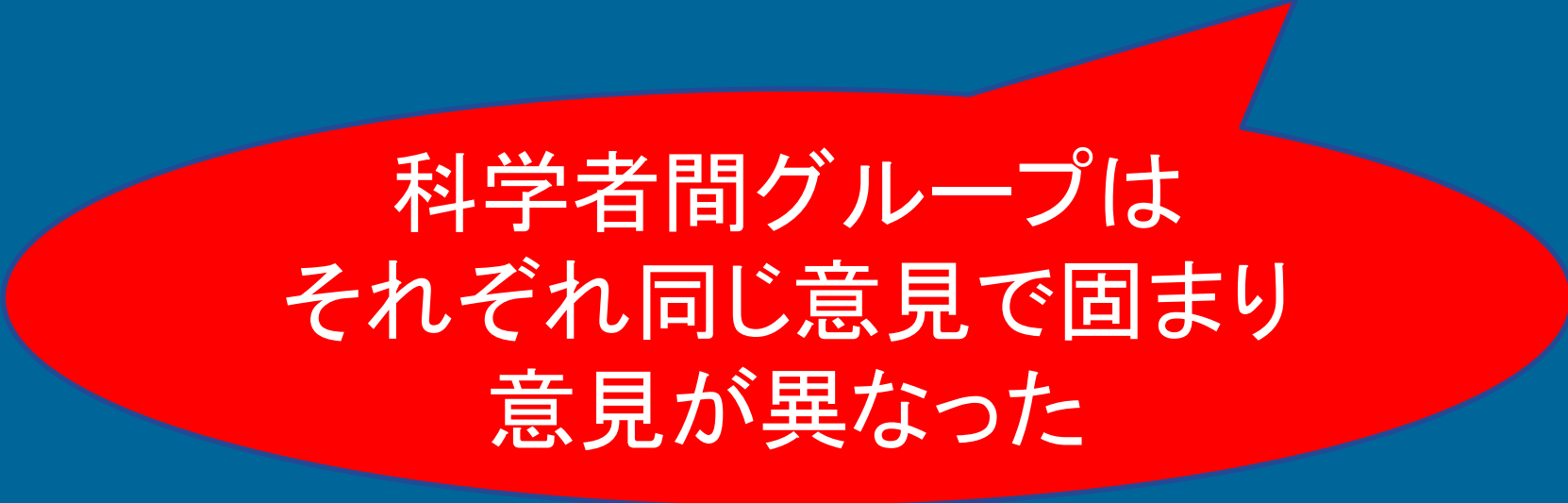
- 日本 BER2019 「Osaka Call」 世界に呼びかけ

日本の役割は大きい！



2

モチベーションと対象とする学問分野



科学者間グループは
それぞれ同じ意見で固まり
意見が異なった

しかし、その後、DNAは損傷するだけではなく修復効果があるという成果が出てきたが、残念ながら、これらを踏まえた放射線による生体への影響の定量化は行われていない。そこで、これらの実績を踏まえて、ここ、1世紀

蓄積された生物学的知見を整理し、この研究に勤しむ、
様々なところに散らばる様々な分野の研究者の実績を統合し、現段階の到達点と今後の課題を明確にし、分野横断的研究を連携して進める

ことがまれる。そして、さらに、放射線生物学や放射線医学の現状と未来を展望し、新たに、飛躍的に展開していく道を開くというのがこの研究会の目的である。当課題を遂行するにあたって、最も重要なのは、分野横断型の研究会を実施することである。これまで個々の分野で積み上げた研究を発展させ、生物学実験、分子生物学・疫学のサイドに加えて物理・化学的アプローチも含めて、総合的にレビューを行い、異分野の研究者が一定の共通認識の上に立って、今後の研究戦略を策定すること、加えて、最近の成果を発表し合い、分野の壁を乗り越えて議論することが、今必要であると考えます。

プログラム

(レビュー＋成果発表＋議論)

生物実験：

- ・動物実験1 (ハエ・ネズミ・イヌ・蚕・・・)
- ・動物実験2 (大腸菌・バクテリア・・・)

疫学調査

医療利用を背景にした物理的考察

数理モデル

種を超えた記述：across-species comparison スケーリング則・ミクロとマクロ

目標は？.....

- ・個別に検討すると同時に、総合討論で今後の具体的な目標と計画を策定する
- ・基研での開催によって、更に免疫・宇宙物理とのつながり等、広範な分野からの視点からの新しい風を導入する研究会へ
- ・分野の壁を乗り越え、共同で議論、研究できるネットワーク形成へ

JSPS委員会との連携・次世代科学の新しい試みへ(アセスメント科学)

最終の大目標・・コペンが夢見た「**生命の仕組みを解き明かす**」

第1歩として、当面の研究会の目標

- ・低線量率放射線の影響の明確化
- ・自然突然変異の機序を解明

残念なことに、低線量率放射線や自然突然変異の研究者は少ない。

一方、Science. 2015 Jan 2;347(6217):78-81.“**Cancer etiology. Variation in cancer risk among tissues can be explained by the number of stem cell divisions.**”by Tomasetti C1, Vogelstein

- ➡日本には、世界的に誇れる人材（真木寿治、権藤洋一、松本義久）
低線量領域でデータを出せる唯一の研究所：環境研（小野哲也所長）

コペンの動きやシュレディンガーの「**生命とは何か**」で啓発された科学者は国際的にも多数に上り、それが大きな成果を生み出したことも事実で、日本の物理学者も多数啓発されたが、1960年代に終わった！

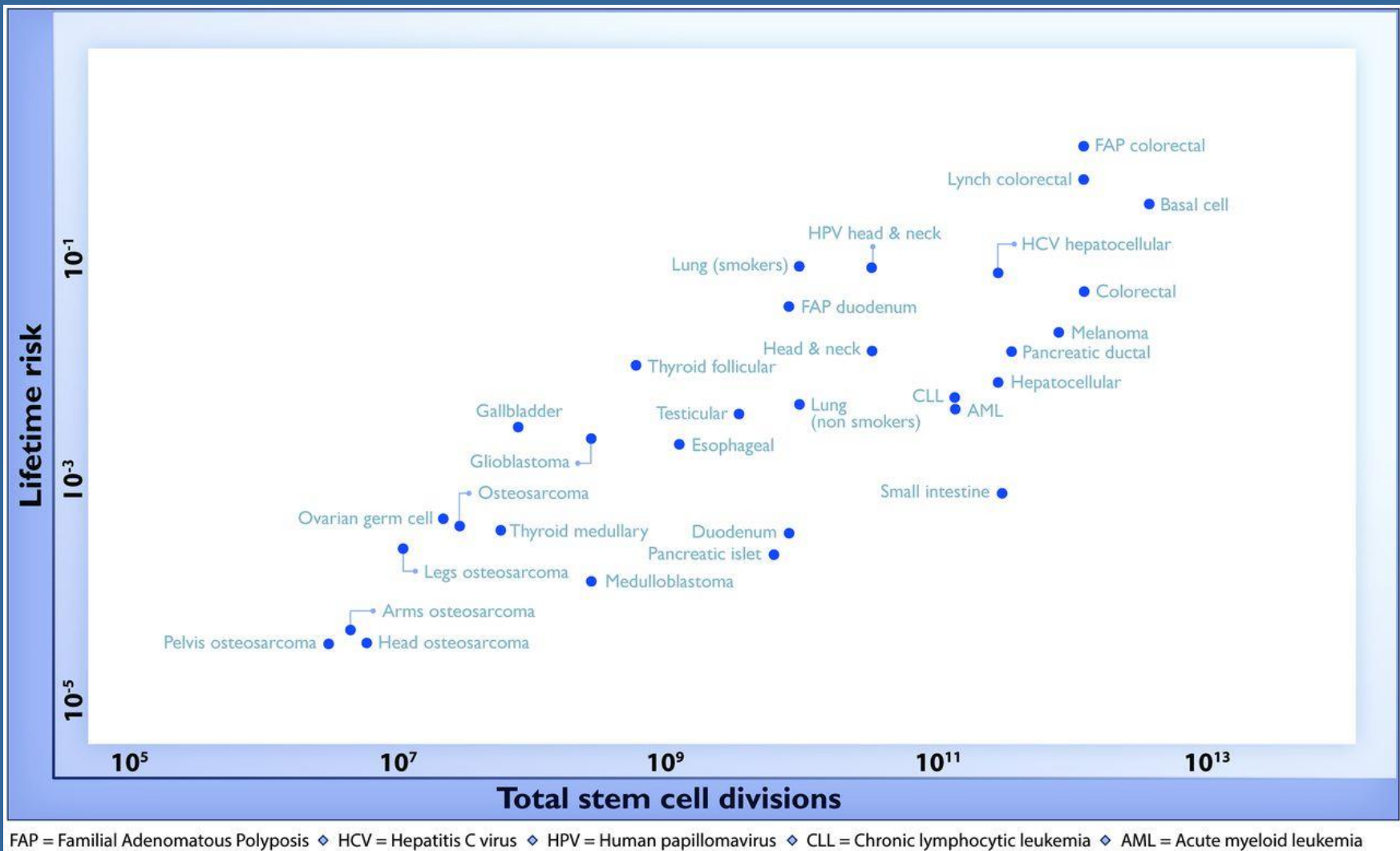
半世紀以上が経過し、ミクロレベルの構造がより正確に解明できる時代を迎えた今、新しい目で今一度、ミクロとマクロをつなぐプログラムに向けての探求が必要な時代を迎えているのではなかろうか。

DNA is DNA (Neel)

①

- 1 生物は細胞からできている。
細胞の大きさは10 μ m程度・
1kg当たりほぼ1兆個の細胞
- 2 細胞内の遺伝情報(DNAコード)は共通
??? 同義コドン: 種ごとに特徴?
- 3 細胞の刺激応答反応(物理・化学的)
個体レベルではスケールの異なる反応

— 生命の始まりと生物の進化 —



数学者Cristian Tomasetti・遺伝学者Bert Vogelstein

Tomasetti, C., Li, L. & Vogelstein, B. *Science* **355**, 1330–1334 (2017).

Tomasetti, C. & Vogelstein, B. *Science* **347**, 78–81 (2015).

Nowak, M.A. & Waclaw, B. *Science* **355**, 1266–1267 (2017).

Spontaneous mutation

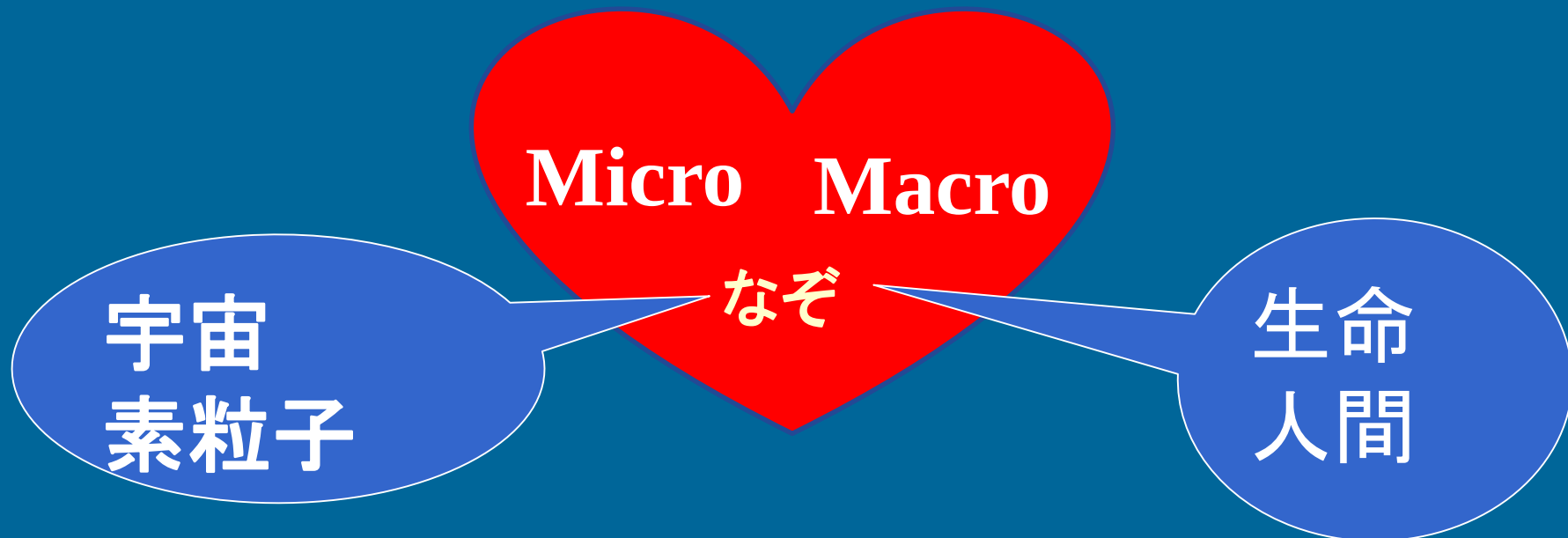
➡ 自然放射線の1000－10000倍も大きい

この原因？・・・真木寿治（奈良先端大）

活性酸素

増殖過程のミスコピー

➡ ミクロとマクロを繋ぐ 寿命とROS がん



ミクロとマクロをつなぐ物理

基礎物理学研究所は、これまでも天文学と素粒子論、進化論と数理物理学、といった分野の連携が

林忠四郎や松田博嗣を開拓者

として様々な成果が得られ実を結ぶ重要な拠点であった。そして、その結果、宇宙物理学や進化生物学と言った新分野を切り開き、ミクロとマクロを一挙につなぐ新しい展開を可能にしてきた。こうして、この世をつかさどる普遍的法則や原理から、マクロな現象を解き明かすという伝統を支えてきた。実際に、それぞれの新展開の動機を与えたのが基礎物理学研究所で伝統的に行って生きたこの研究会、特にその中でも長期研究会であった。その背景には共同利用の精神に基づき、国際的視野から、新分野に挑戦する進取の気風や伝統があった。

今回の研究会によって新しい分野への基礎物理学の挑戦が更に発展する機会となることを願っている。

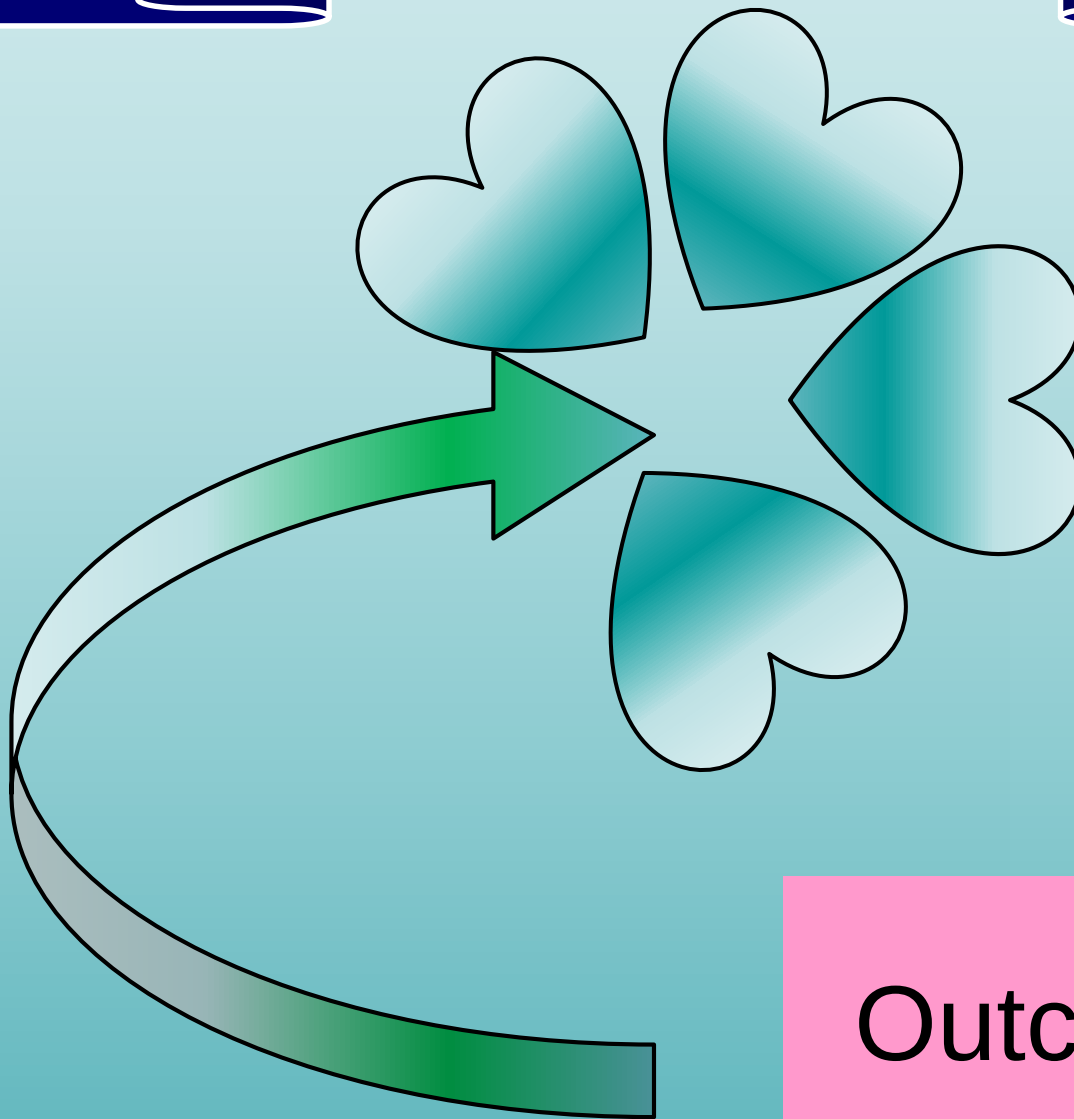
日本の使命と基研の役割

分野横断科学者のネットワーク

福島事故を起こした日本が果たすべき人類の未来に対する責務である。

- ➡ ・放射線防護だけでなく幅広い研究者を結集すべし
- ・純粋に政治的配慮を除いた科学的知見を明確にする義務

我々の目指す科学
イノベーション準備状態を作る条件



Outcome 1

イノベーションを可能にする条件とは？



「イノベーションと多様性に関する考察を深めるには、イノベーションのタイプ、イノベーター/その他の管理者など様々な角度からの視点が必要」

第3章まとめ

キックオフご講演

花王の**よき**モノづくりと ダイバーシティの取組

キックオフご講演

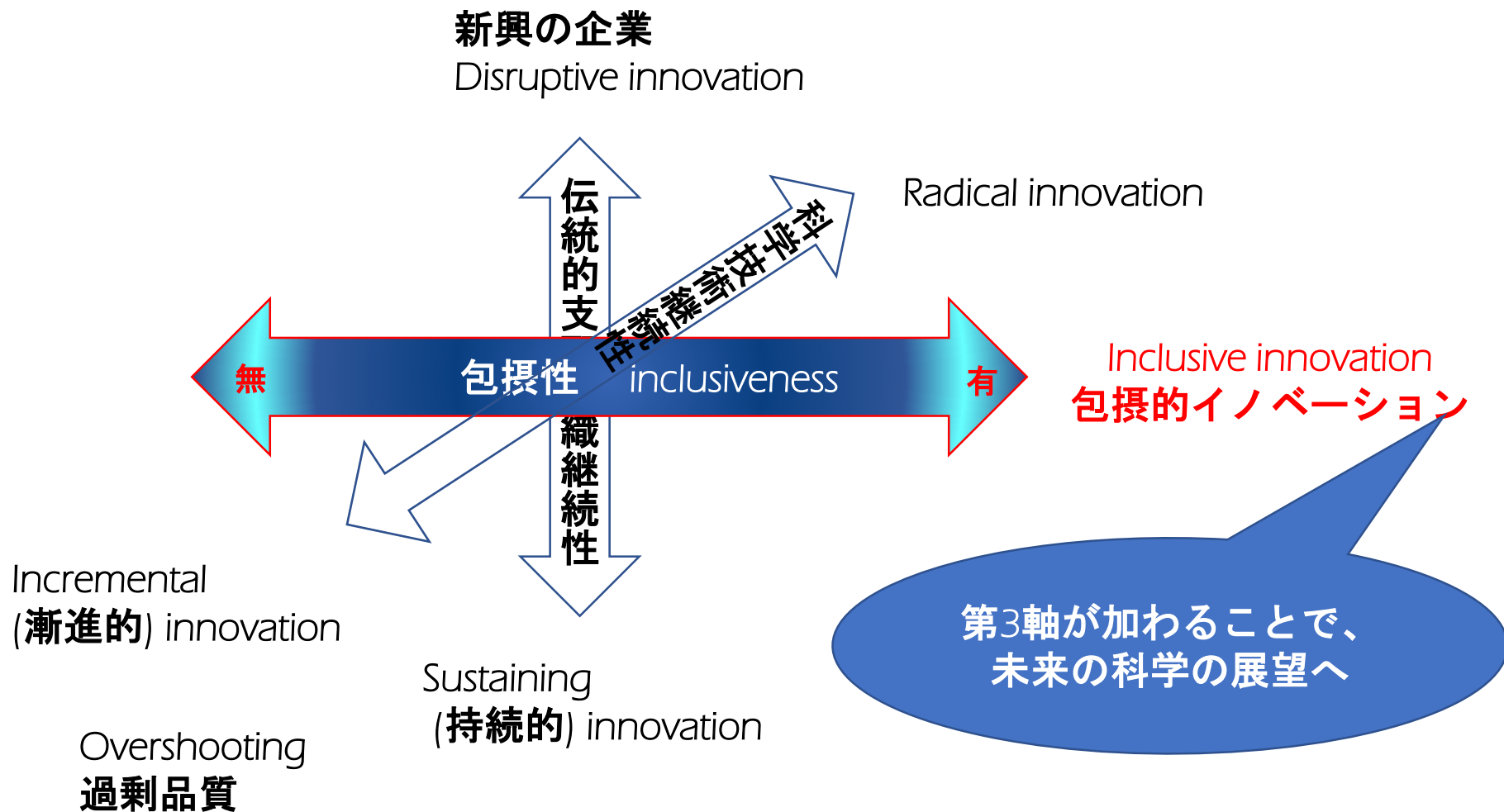


＋アルファは**社会貢献度**？

年度総括ご講演



Inclusive innovation 包摂的イノベーション～



Inclusive innovation 包摂的イノベーション

今回のインタビュー調査から女性研究者・技術者は
包摂的イノベーションの創造に寄与すると考察される

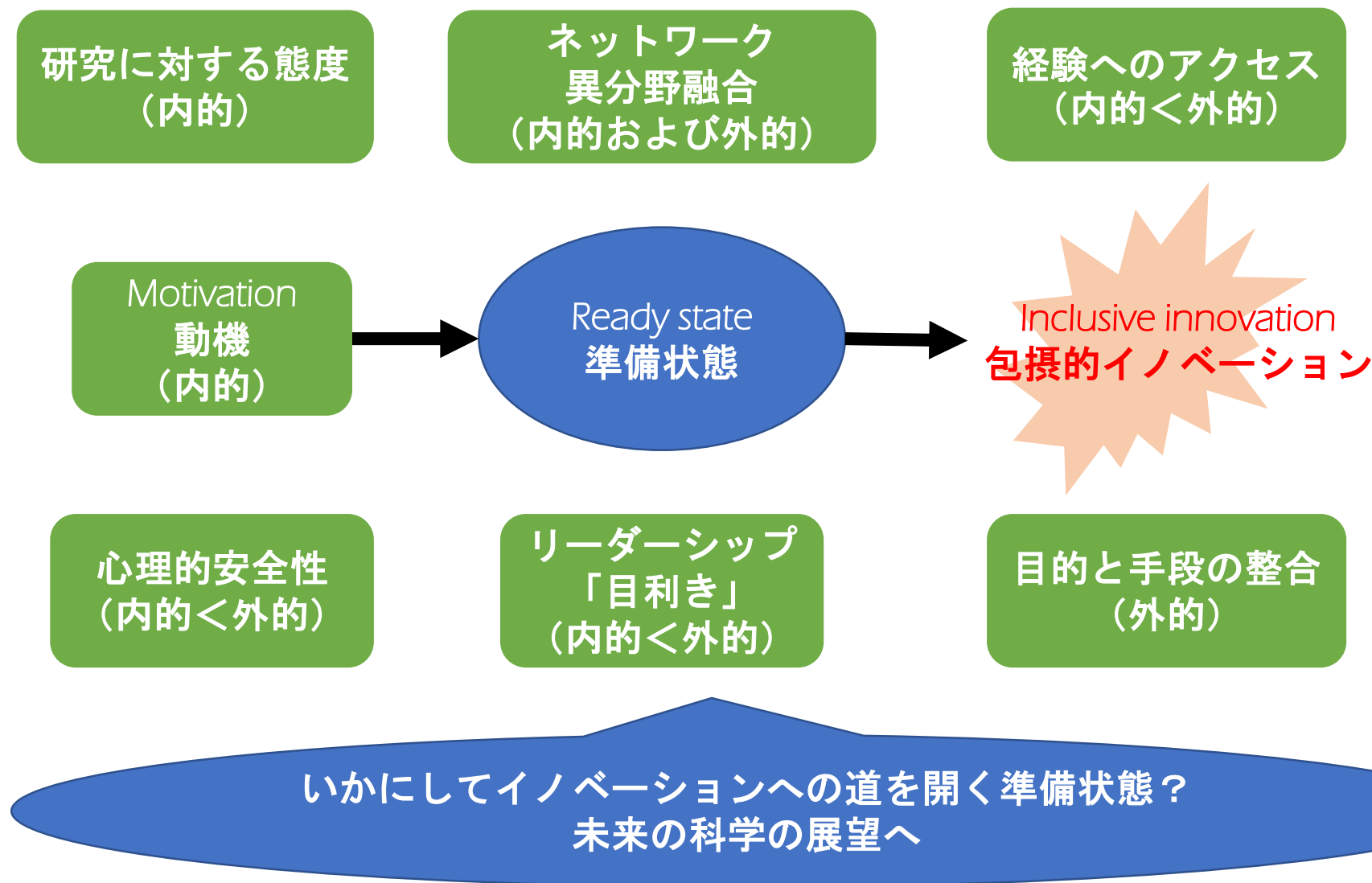
鈴木和代・小山真紀 作成原案

Devin Cook, Executive Producer of MIT's Inclusive Innovation Competition, says

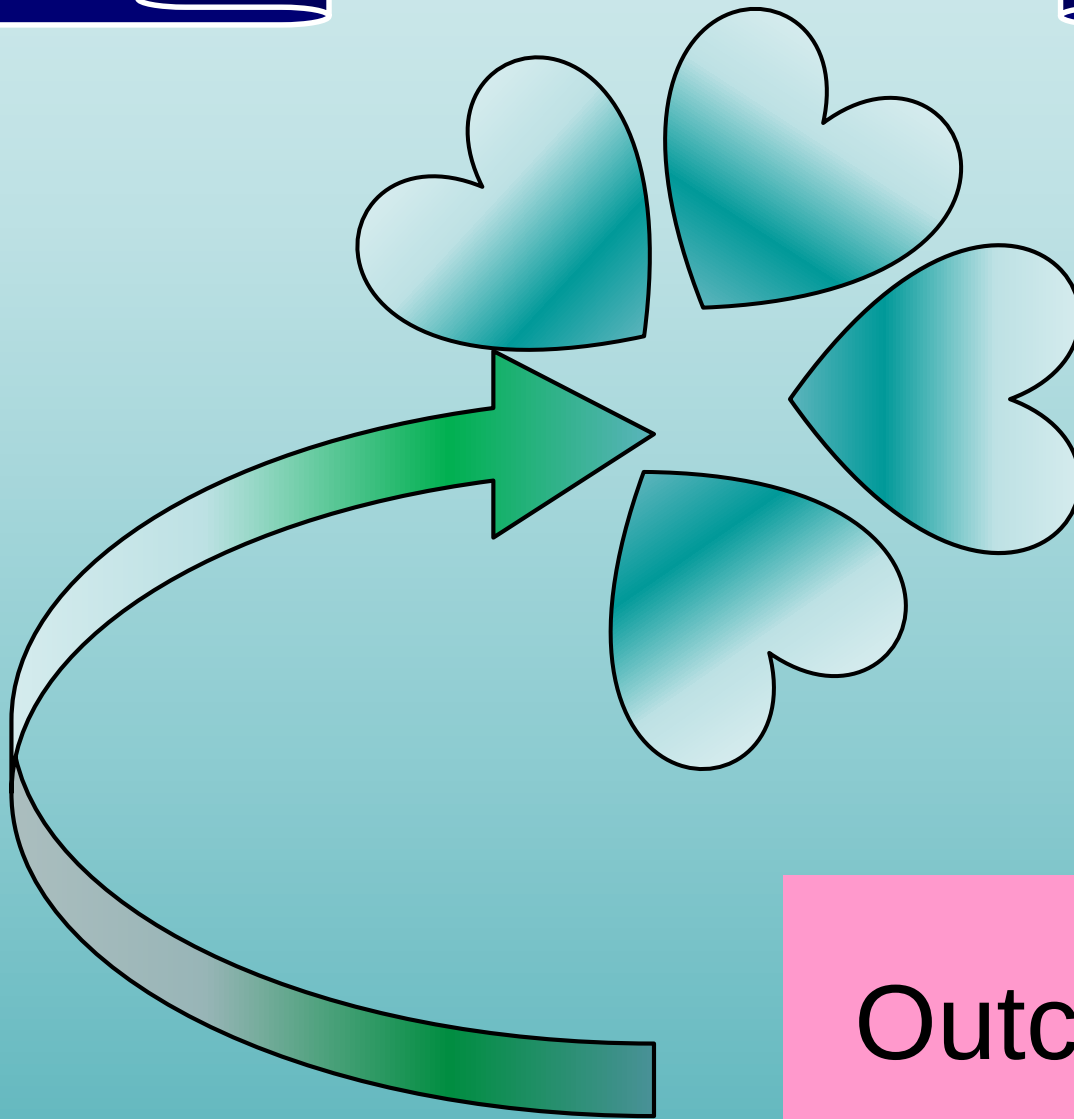
“This is technology for the many and not just the few. How do you use those innovations to benefit more people and allow them to have a better future of work better working lives both for them and so their families have better opportunities going forward. We really feel those technology can be used as a tool to shift the future more positive direction to create more jobs to create more opportunity and so with the inclusive innovation competition we are looking to celebrate those organizations and those people that are doing just that. “

インタビュー解析から見える

イノベーションに寄与した女性研究者・技術者の内的・外的（環境）要因

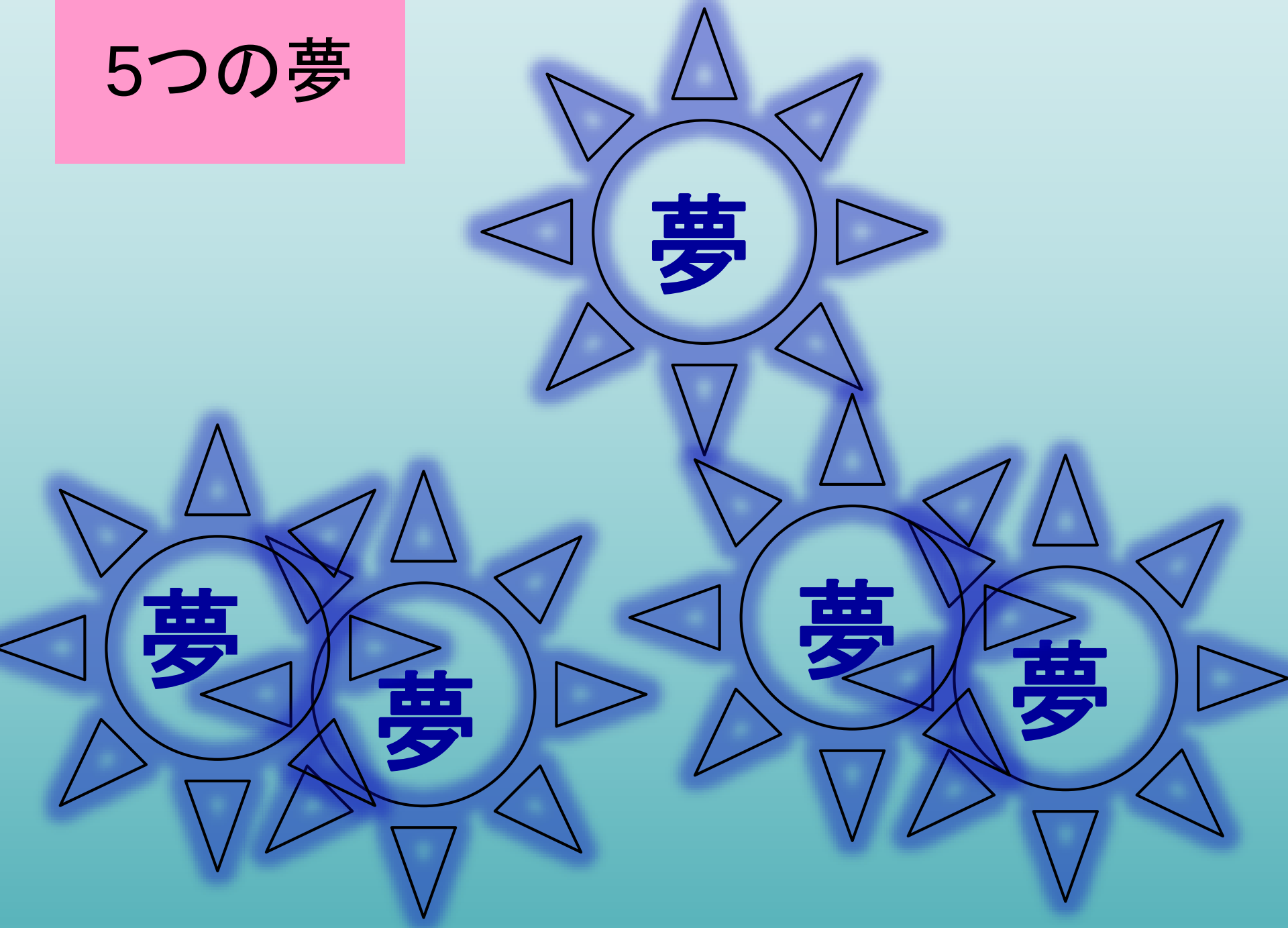


放射線の生体影響は夢とつながる！



Outcome 2

5つの夢



放射線生物

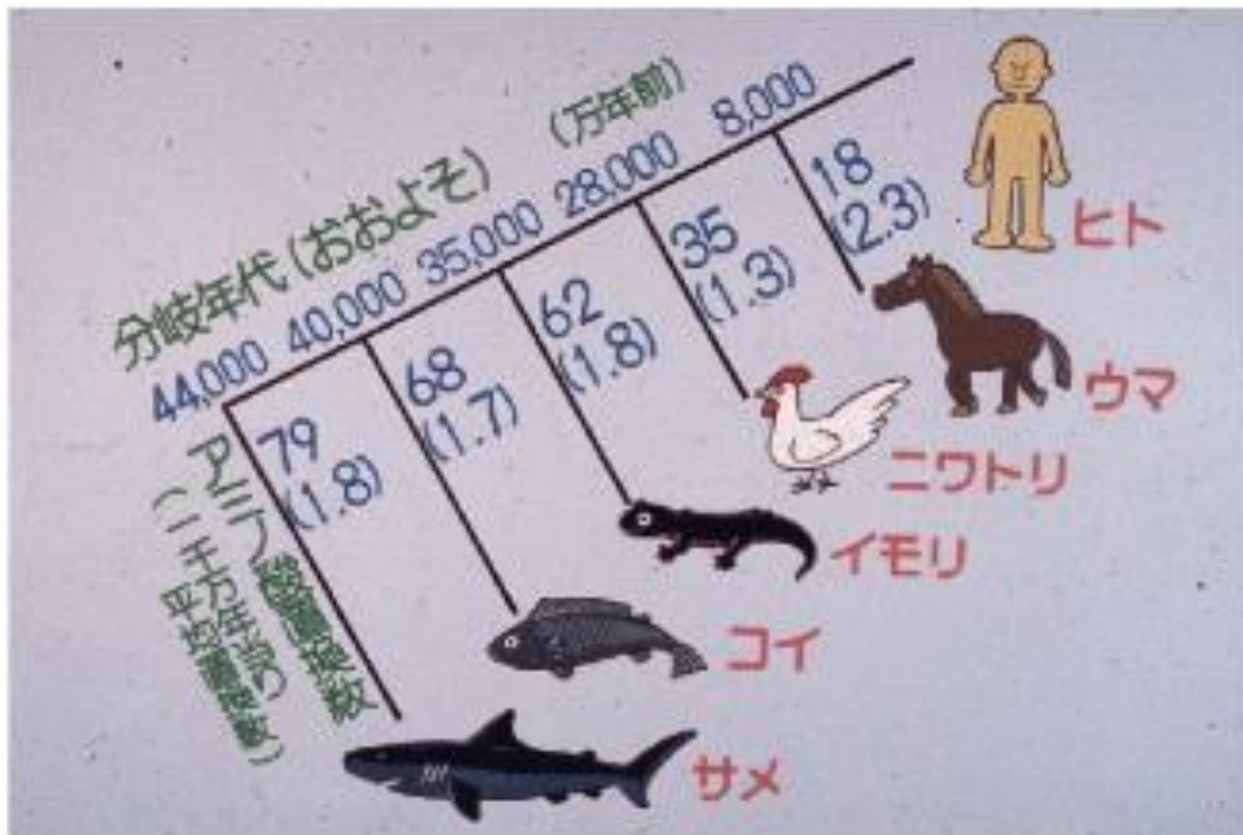
ギリシャ人の4つの疑問

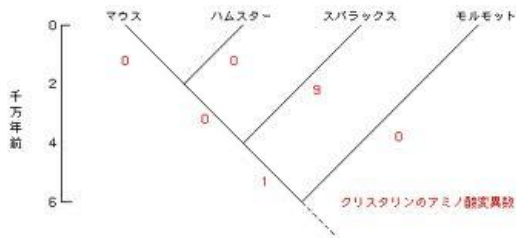
- ① ものは何からできているか
- ② 宇宙の起源は？
- ③ **生きているとは？**
- ④ 考えるとは

生命とは何か

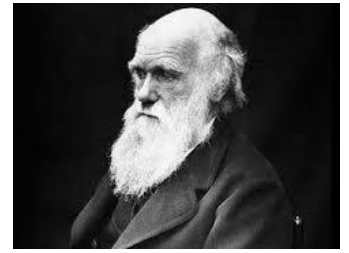


突然変異⇔進化のdriving force

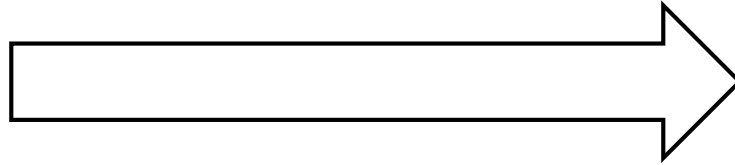
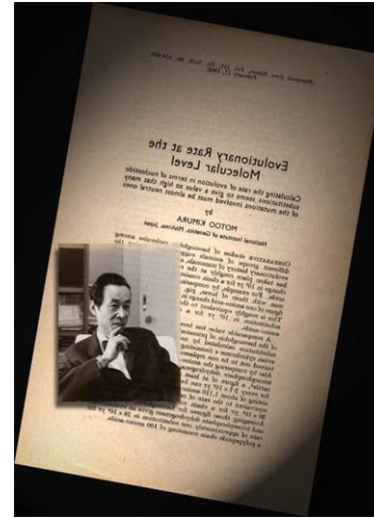




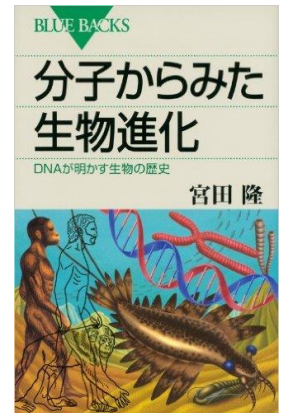
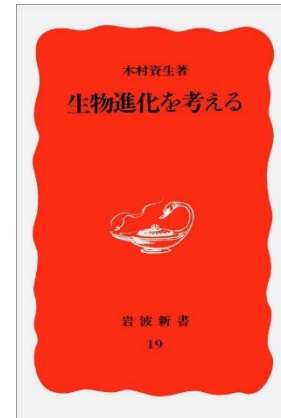
進化と突然変異



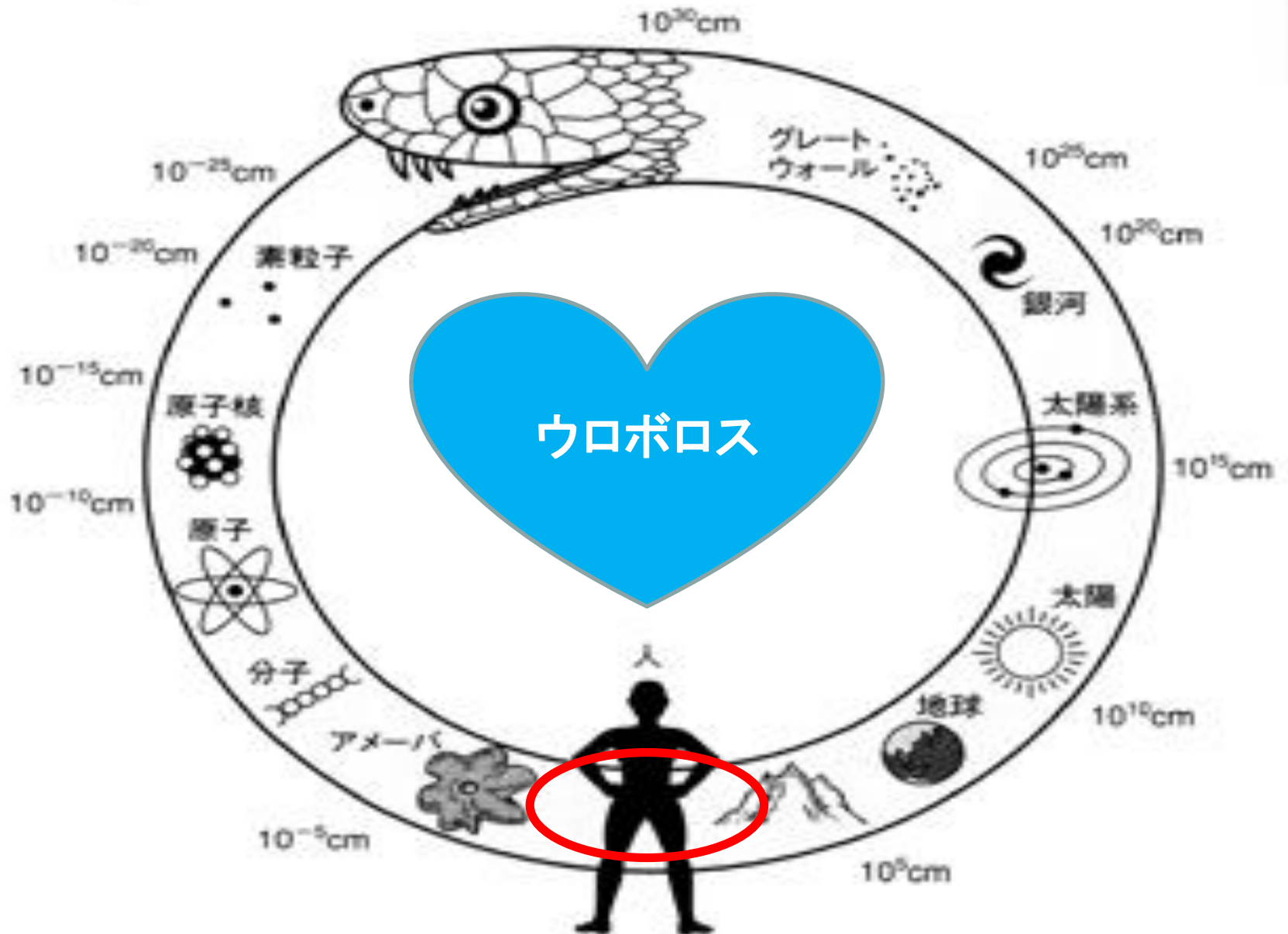
- ダーウィン: 自然選択 (1859)
- ド・フリース (1901)
- モルガン: ショウジョウバエ
- マラー: 人工的突然変異



- 分子生物学の発展
- ポーリング・ズッカー・カンドル
- 分子時計



ミクロとマクロをつなぐ



ダイソン文明へ

宇宙線の影響は？





ダイソン文明へ

巨大
その

巨大建造物
その目的は?

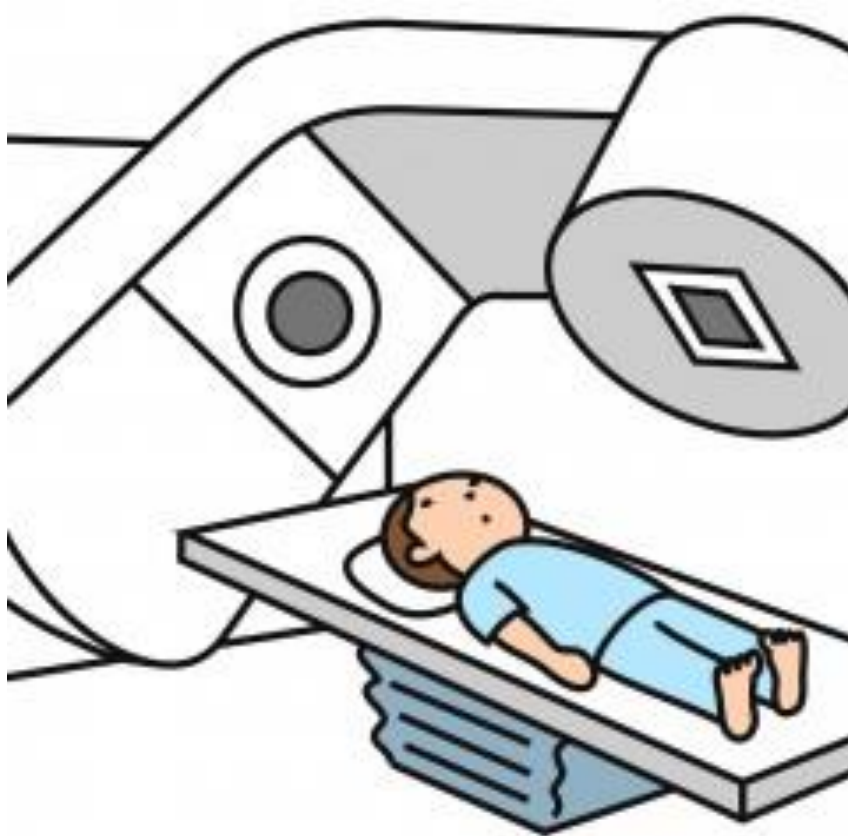


銀河文明

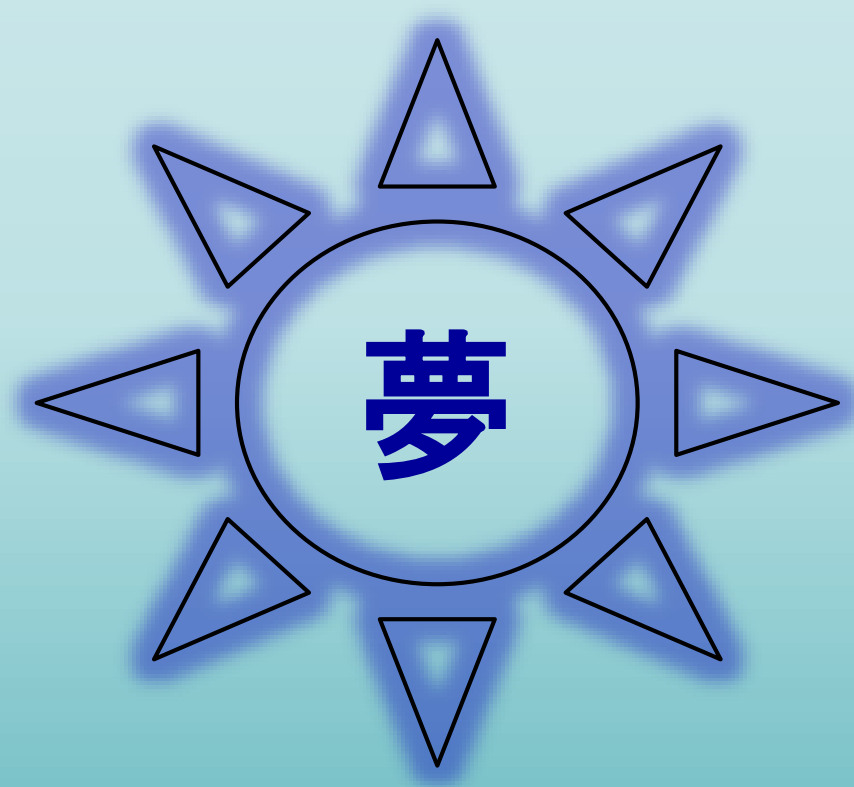
医療への応用

診断と治療





エネルギー問題



原子力エネルギーと人類の共存

1 事故究明の現実・・安全性

- ・原子炉事故(地震・津波)の技術的側面⇔事故調の評価
→止める・冷やす・閉じ込める 水素爆発・冷却機能⇔電源喪失・

Mark1 < BWR < 軽水炉 < 原子炉

- ・シビアアクシデントの対策→人災

電力会社 < ? < 科学・技術者

女川とどこが違ったのか？

図54 三陸沿岸における津波の歴史

1968年 東北電力は「原子力地点海岸施設研究委員会」を設置

委員会は、本間仁東洋大学教授を委員長とし、地震、土木工学（水理学、海岸工学、津波）、地球物理学等の専門家9名から構成

委員会は1

（「大自

2012））

人類の未来のために！
科学者・技術者
としての責務です

女川原子力

号機

出力(MW)

運開

869, M8.6

1611, M8.1

1896, M8.5

1933, M8.1

震源地に最

殆ど無傷で、

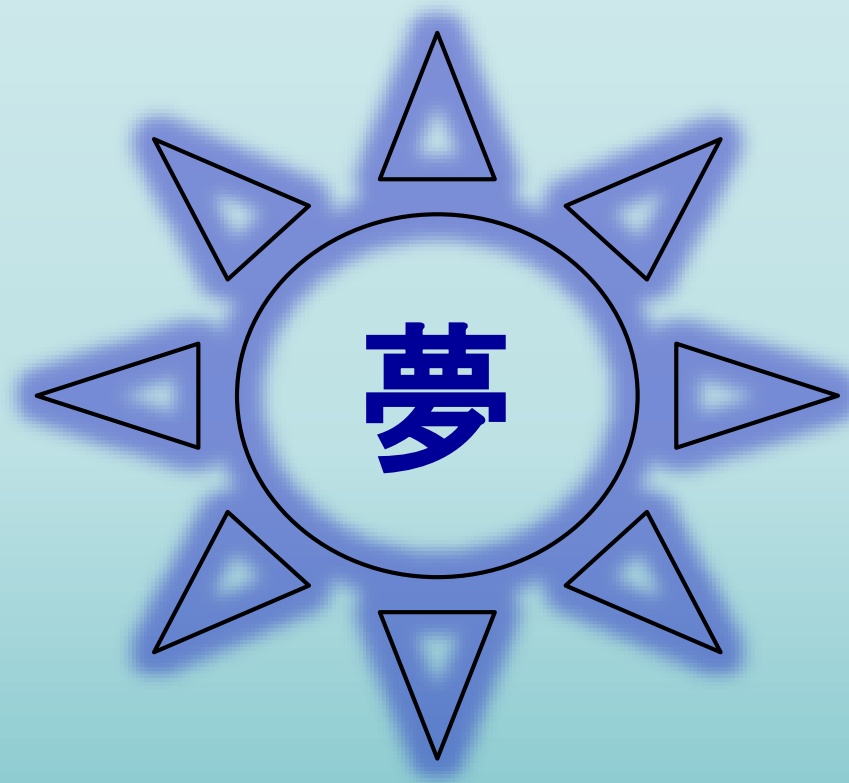
にもなった

女川原子力発電所 海外のプレート境界地震
チリ津波

「技術の基本：社会に貢献し、進化し続ける日立技術」講義抜粋

日立の技術研修所 牧英夫

社会と科学



Regulatory science

➡ Assessment science (osakabe)



The End
thank you
for your attention