

2019 年度 第 12 回 講演会 記録

日 時	2019 年 10 月 19 日（土）		
会 場	此花会館 梅香殿		
講 師	琉球大学学長 西田 睦 先生		
演 題	人類の遠い祖先を海に訪ねる		
備 考	参加者 166 名（聴講者 5 名含む）		記録 飯田正恒

はじめに

【田中 克先生】

西田先生は魚類の系統進化を探る研究分野で日本の草分け的な存在です。その手法はいろいろありますが、最終的には分子遺伝学的に解明することが本道と言えます。1980 年末にカリフォルニア大学・バークレイ校に留学され、そこで基本的な考え方や技術を身につけ、帰国後福井県立大学や東京大学において世界的な研究をされました。タイや・ヒラメなどの真骨魚とサメ・エイなどの軟骨魚とヒトとの系統関係を見比べたとき、タイやヒラメのほうがヒトに近い類縁関係にあるのです。ヒトは海から陸に上がった魚であるにも関わらず、すっかり海のことを忘れてしまい、海に大きな負荷をかけ続けて着ました。今日は海に関心をもつことの大切さを、魚類の系統解析などの基礎科学からお話いただきます。

【西田 睦先生】

私は古希を迎えていますので、「シニア自然大学校」と聞くと親近感を覚えます。田中先生からいただいたテーマは「持続循環共生社会を展望する上で不可欠な確かな未来の原点」を探るということでしたので、魚だけのことではなく、最近大学の経営に携わるようになったこともありますので、これからの社会や世代のために「確かな未来を探る」ことのお話もしたいと思います。



進化学という学問の領域があり、面白いのですっかり入れ込んでしまいました。世界を進化の視点でみることができるのではないかと考えてきましたが、最近同じ考えを持つ人が増えてきました。この延長線上に我々の社会をつなげてみていきたいと思います。話の流れですが、まずは魚類の進化について、次に「陸に上がった魚と海」のこと、陸に上がった魚とは、我々人間自身のことです。つぎに進化の視点から世界を見るとどうなるか。そして進化するヒトの社会、加速する社会の変化にどう対応するか。このようなお話で進めていきます。

【講演要旨】

1. 魚類の進化

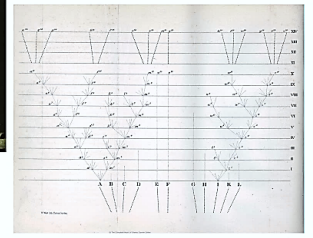
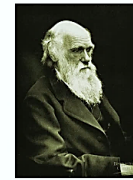
（魚類の多様性の実例を写真で示し）多様な魚の存在は漁業資源としても、また進化の研究の上でも重要なことである。また地球の自然を賑わすこのように多様な魚類はどのように生じてきたのか。このことが分かると失われた種の復元をしたり、漁業資源を賢く利用することにもつながる。

（地球上の生物の種類の数を大まかに知ってもらうために作成した図を示し）生物の種のを絵の大きさで表したこの図で、昆虫類が 75 万 1 千種で地球上の生物の中で最も多く、地球を虫の惑星という本もあるくらい多い。昆虫以外の節足動物（甲殻類・クモ類・ムカデ類など、外骨格と関節を持つグループ）が約 12 万 3 千、多様性が最も高い動物門である。

あと、カエル、カメ、サカナなどの脊椎動物やキツネなど哺乳動物、トビなど鳥類、菌類（キノコ）など種々あるが、その全体像は分かっていなく、まだ知られていない生物が多くいる。

このような研究を位置付けたのはダーウィンで、「種の起源」を著し、その中にただ一つ図（右図）があり、「自然淘汰」とともに「系統」と「種の分化」という視点を明確に導入している。

ダーウィンは、進化は下等なものから高等なものへといった直線的な変化ではなく、共通の祖先から系統が枝分かれして多様な生物を生む歴史であるとの考えを示し、さまざまな証拠をあげて進化が事実であることを論証した。



Darwin (1859)

●『種の起源』における唯一の図。「自然淘汰」とともに「系統」と「種の分化」という視点を明確に導入していた。

(1) 種分化（種の多様性生成）の起原

新しい種は祖先種の分岐（生殖的隔離）によって生じ、現在地球上にみられる生物の多様性は種分化なしには説明できないことを下図で説明。

種分化：種の多様性生成の起原



1) アユの遺伝的形質

京都大学・大学院在学時代、種が新しくできるプロセスを知りたいと思い、アユを対象に研究をはじめた。私が抱いた問題意識は、同じ種でも少しずつ形が異なる個体がいることで、地域やまとまった棲息場所により、見た目にも少し形の違うものがあるのはなぜかということであった。

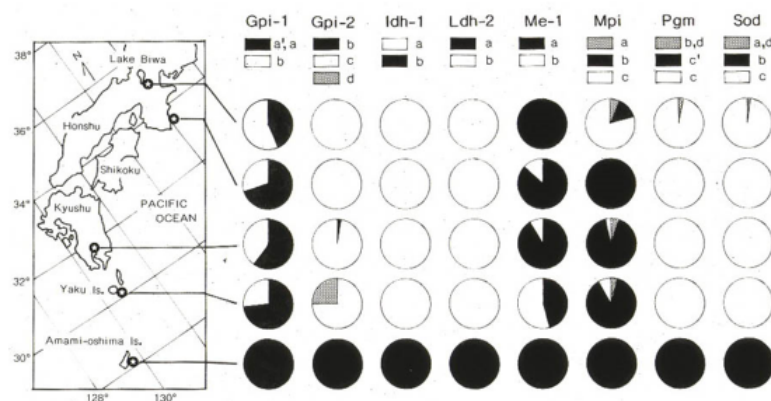
アユは両側回遊魚で、その生活史は産卵期になると降河し、下流域の砂利に数の子の一粒と同じ程度の大きさの卵を産み付ける。卵は1週間ほどで孵化し、海の沿岸で春まで過ごす。春先に海から川へ遡上し、石に付着する藻を食べながら成熟すると産卵して一生を終える。その分布域は日本列島のほぼ全域と台湾・朝鮮半島、および中国大陆の一部である。琉球列島にもアユがいて、二、三の形態形質に特長があるが、詳細は不詳。また琵琶湖の陸封個体群が両側回遊型アユといくつかの点で異なっていることが明らかになっている。

アユの変異についての議論をより深めるため日本・琉球列島各地のアユ集団についてその変異の実態を調査し、地理的構造との関係が明らかになった。以下要約。

- ① 1978 年夏、沖縄ヤンバルで 1 匹のリュウキュウアユと出会った。1980 年、琉球大学に赴任後懸命に探したがみつからず、この 1 匹が沖縄島で見た最後のリュウキュウアユになった。
- ② 1972 年、アメリカから沖縄の施政権が返還されたので、ただちに奄美大島に行き調査した結果、奄美には生息を確認できた。この後、研究が大きく進むことになった。
- ③ 奄美大島、屋久島、鹿児島、三重と琵琶湖のアユのアロザイム分析（注）の結果、奄美大島と琵琶湖とは明確な差異が見られたが、琵琶湖と屋久島、鹿児島、三重との比較では顕著な変化は見られなかった。

（注）アロザイム：酵素としての活性がほぼ同じでありながら、タンパク質分子としては別種であるような酵素をいう。厳密には、全く別の遺伝子に由来する狭義のアイソザイムと、同じ種類の遺伝子に由来するアロザイム（Allozyme）に分けられるが、いずれもまとめてアイソザイムと呼ぶことが多い。

琉球列島集団の顕著な遺伝的分化および琵琶湖産アユの ユニーク性を示すアロザイム分析結果



- ④ 琉球列島に生息するアユは、形態的、遺伝的に日本列島のアユとは著しく分化していることが明らかになり、分類学上の名前をつけることになり、リュウキュウアユ *Plecoglossus altivelis ryukyuensis* として新たに亜種記載した。（Nishida, 1988）
- ⑤ 琉球列島のアユが著しく分化した過程

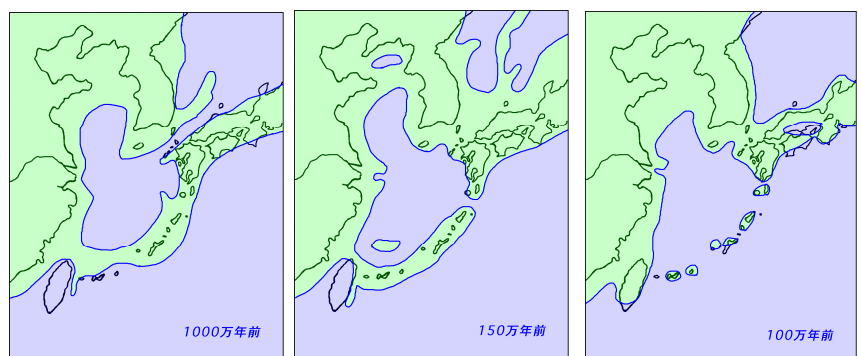
琉球列島の地史を考慮することで、はじめて理解できるものと思われる。

すなはち「1000 万年前、琉球と日本列島は陸続きであったが、150 万年前に地殻変動により沈降や隆起、氷期にともなう海水面の変動のため島々の分離や統合が繰り返し起こったことが、奄美大島以南の琉球列島と日本列島を隔てることになった。琉球のアユはトカラ海峡によって日本列島のものと切り離され 100 万年レベルの期間にわたり交流を持たなくなったことによる」

このように考えると論理的に

ぴったり合う。

クロサギ、ヤンバルクイナ、イリオモテヤマネコなども同じ理由で分化したと思われる。



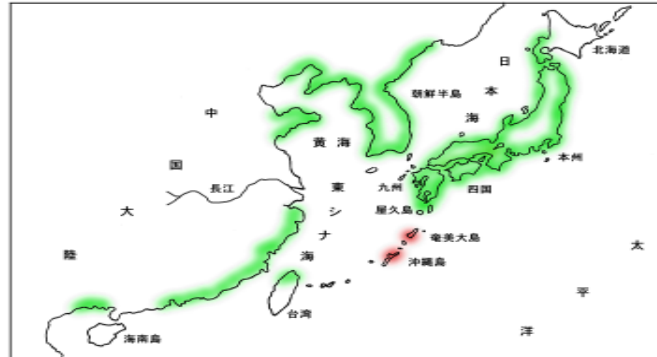
1000 万年前

151 万年前

100 万年前

⑥ アユの遺伝的な距離

日本列島と琵琶湖産アユの遺伝的距離（相対値）は 10 であるが、リュウキュウアユとでは 100 となり、大きな違いがある。この希少なリュウキュウアユを守るため、島の子供達にも働きかけ、保全活動を行っている。



亜種名	分布域	遺伝的距離(相対値)
リュウキュウアユ	琉球列島	100
アユ	琵琶湖	10
アユ	日本列島	1
アユ	大陸	

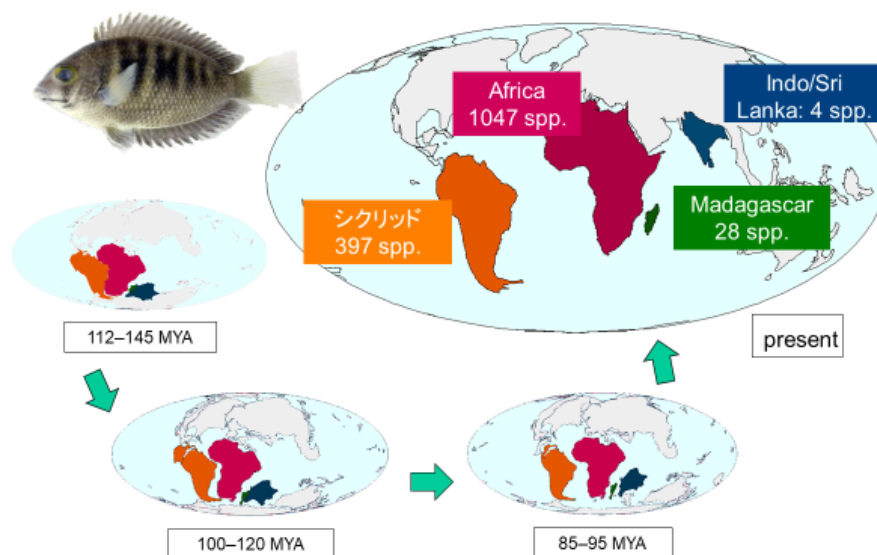
2) シクリッドはゴンドワナ大陸（注）起源か？

シクリッド (Cichlid・和名カワスズメ) は、スズキ目ベラ亜目シクリッド科 (カワスズメ科) Cichlidae に分類される魚の総称で、中央アメリカから南アメリカにかけて 397 種、アフリカに 1047 種、マダガスカルに 28 種、インド・スリランカに 4 種棲息する。大陸移動により分岐したと考えられるが、以前、アフリカのタンガニイカ湖で調査に関わった経緯からこのサカナにも思い入れがあり、この分化についての研究を紹介する。

(注) ゴンドワナ大陸 は過去に存在したと考えられている超大陸で、現在のアフリカ大陸、南アメリカ大陸、インド亜大陸、南極大陸、オーストラリア大陸や、アラビア半島、マダガスカル島を含んだ、巨大な大陸であったが、長い時間をかけて下図のように移動した。

シクリッドと大陸分岐

Azuma *et al.* (2008)
BMC Evol. Biol., 8: 215.



注：MYA＝百万年前

95MYA は 9500 万年前

アフリカ東部のタンガニカ湖は豊かな生物相を有し、なかでもシクリッドといわれるカワスズメ科の魚類の多様性はとても面白く、多くの生物学者を惹きつけてきた。京都大学はゴリラやチンパンジーの研究でアフリカによく出かけるのでその一行に参加させてもらい、併せてサカナの生態や進化の研究をした。

一般的には、湖は流入する土砂の堆積で埋まり、いずれ沼、湿地、草原へと変化する。ところが、タンガニカ湖は東アフリカを南北に走る大地溝帯にあり、1500m以上の深さを持つこの湖の底は今も落ち込み続けている。この湖の数百万年の歴史がこの湖に棲む魚類の独特の進化を可能にしたと考えられている。大地溝帯には、タンガニカ湖のほかに、ヴィクトリア湖、マラウイ湖という古く大きい湖があり、それぞれ 200 種前後のシクリッドが棲息している。それぞれに固有の、かつ多様性の高いシクリッド群集を構成していることは興味深い。

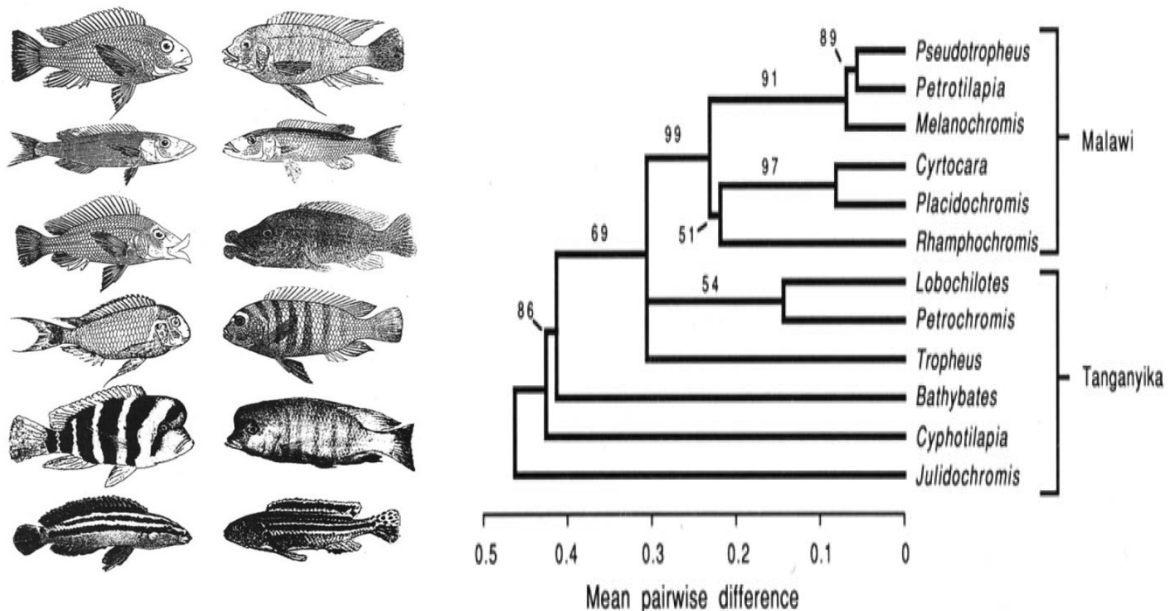
シクリッドの習性は多様で、例えばエサは ①プランクトン ② 付着藻類 ③ 魚 ④ 他の魚の鱗など多彩（写真で説明）。また、鋭い歯を持つ肉食性のもいる。これらはいずれも同じ科であり、タンガニカ湖シクリッドの適応放散（注）の一例である。

（注）適応放散：一般に、ある分類群の生物が様々な生態的・形態的分化を遂げて数多くの系統に分岐する現象をいう

3) タンガニカ湖とマラウイ湖における類似形態・生態を有する種の並行的出現

タンガニカ湖とマラウイ湖のシクリッドには類似した形態や生態を有する種がそれぞれの湖に存在することが知られている。この現象がなぜ起こるか 2 仮説があるが、詳細は明らかではなく、今後分子データの解析などで解明が期待される。（「タンガニカ湖の魚たち 第 3 章」）

タンガニカ湖 マラウイ湖



(2) 魚類の大回遊の起源

サカナには大回遊するものがあり、その一つはウナギで、この研究は非常に面白い。

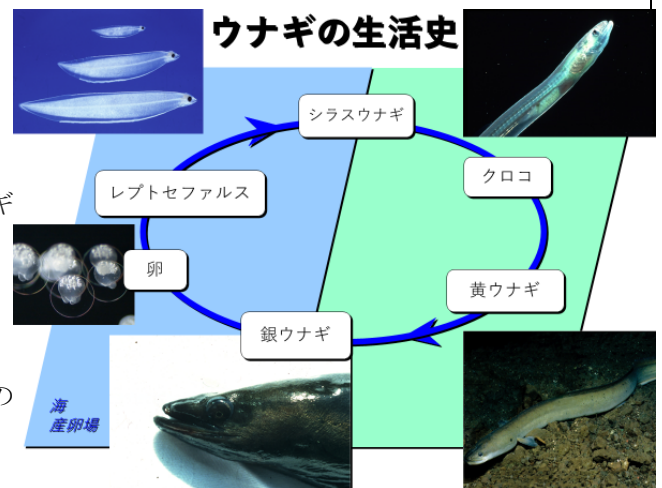
1) ウナギ

ウナギが育つのは川や池・沼で、成熟すると海に下り産卵するがその場所は長い間不明であった。

ウナギ研究の第一人者で「うなぎ博士」の愛称で知られる塚本 勝巳氏が、2008 年に海洋でウナギの

親魚を捕獲、2009 年には世界で初めて天然ウナギの卵をマリアナ諸島西方海域で採集することに成功し、産卵場所が明らかになった。卵からかえった仔魚レプトセファルスは黒潮に乗って数千キロの旅をし、シラスウナギからクロコに成長し、川や池で黄ウナギから銀ウナギになり、産卵期を迎えると海に戻っていく。(右図ウナギの生活史参照)

ウナギ科の 18 種のウナギは全て淡水域で成長するが、何故淡水に入るのか、すなわち祖先に遡るとその起源は海であり、親の時だけ淡水で暮らす、産卵する場所は深海にする、祖先から受け継いだ生活史を変えられず、外洋を大回遊すると考えられる。



2) サケ

サケの仲間の大回遊はウナギとは逆で、淡水に産卵するため川に遡ってくる。サケの仲間の起源は淡水と考えられる。

【 休 憩 】

(3) 遺伝子のレベルから習性の進化を探る

今までのお話とは違う角度から、私が行ってきた魚の研究の一部を紹介する。

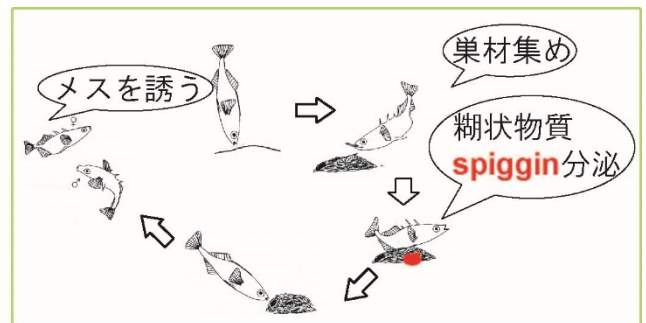
DNA を調べるということは、習性や形態を担っている遺伝子を分析することになる。生き物の遺伝子の全て、これをゲノムといい、この情報をデータベースとして誰でも利用できるようにする。情報量がどんどん増え、ビッグデータとして利用できるようなになれば、いろいろな知見が容易に得られる。そういう時代になってきた。

「イトヨ」は降海型が島根県以北の本州、北海道に分布し、河川残留（陸封）型が北海道、福島県、福井県に分布しており、行動が面白いので研究対象にしばしばなる。

オスが巣を造り、メスを呼び込んで産卵させ、卵を守り育てる。藻類など繊維を素材にトンネル型の巣を造る。巣材を運びこみ、口を使って形を整えるとともに、体を小さく震わせながらノリ状物質で巣材を固めて巣を造る。

(イトヨの営巣の様子を動画で紹介)

巣造りに使うノリ状物質はどのようなものか、コンピュータープログラムを用いてゲノムデータベースから知ることが出来る。そのような時代になってきた。



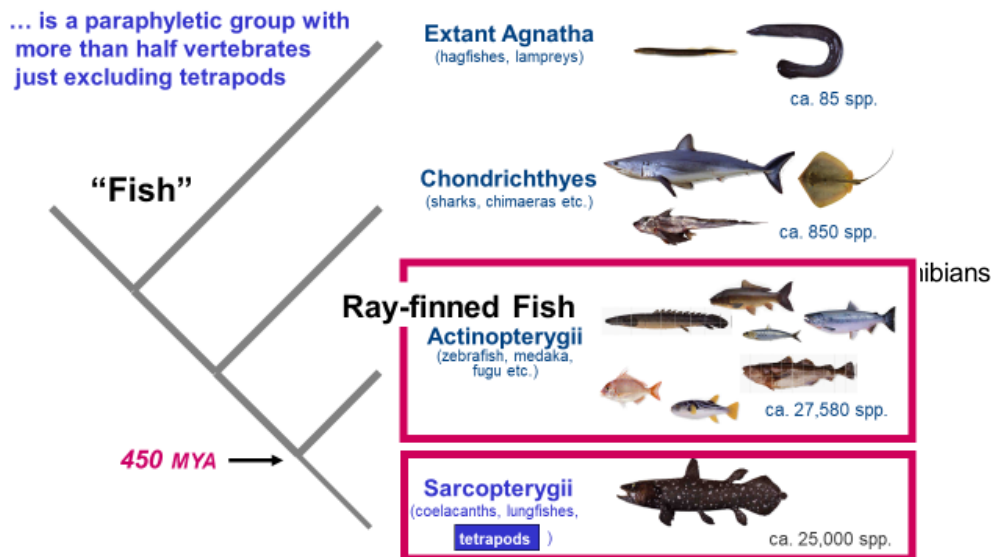
(4) 魚類の大系統進化

下図は脊椎動物の分類別数をざっくり知る資料で、数の上で約 1/2 をサカナが、残り 1/2 を四肢類（注）が占める。魚類の進化の歴史をたどると、私たち四肢類の祖先は約 3 億 5 千万年前にサカナから分かれ、陸上に進出した。分子系統解析結果と化石情報を統合して作られた「魚類」の進化史によると

四肢類は肉鰭類に分類され、両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類が含まれます。肉鰭類の兄弟分として条鰭類があり、真骨類（現生魚類の中の多数を占めるグループ）が含まれます。サメは軟骨魚類の内、板鰓類に分類され、ヒトはサメよりタイやヒラメと近い関係にある（下図参照）。

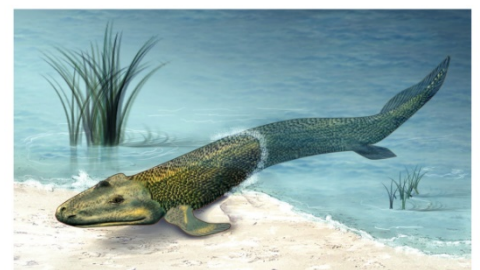
（注）四肢類：脊椎動物中、足（脚）やそれに類する付属器官を有するものをいう。すなわち両生類・爬虫類・哺乳類、そして鳥類である。四肢を持たないように進化した蛇や鯨なども四肢動物に含まれる。四足動物または四足類ともいう。

「魚類」の大系統枠と肉鰭類・四肢類



陸に上がった魚の祖先の候補として考えられているのは、デボン紀後期に生息していたといわれるティクターリク。2004年にカナダ北部で化石が3体発見され、研究者による分析が進められてきた。水の中で生活は乾燥の恐れはなく、温暖で暮らしやすい世界からなぜ陸上に進出したのか？（右写真は Wikipedia から）

四足類の祖先、陸上へ



Wikipediaより

2. 「陸に上がった魚」と海

海は地球表面積の約 7 割を占める。日本は陸上面積は世界で 62 位だが、排他的経済水域（EEZ）は 6 位で、まさに海洋大国である。その海の恵みは、水産物（食料）の生産の場、新規医薬品の素材探索の場、鉱物資源供給の場、物流を支える場、癒し・レジャーの場、気候を支配する場、・生命進化の場等、有形、無形の恩恵を私たちは多く享受している。

地球が誕生してからの 40 億年の大気中の酸素濃度の推移（推定）のなかで、およそ 5 億 4200 万年前から 5 億 3000 万年前の間に、大気中の酸素濃度が急激に上昇し、現在の酸素分圧（21%）に近い環境になり、カンブリア大爆発と呼ばれる生物が大発生した時期がある。

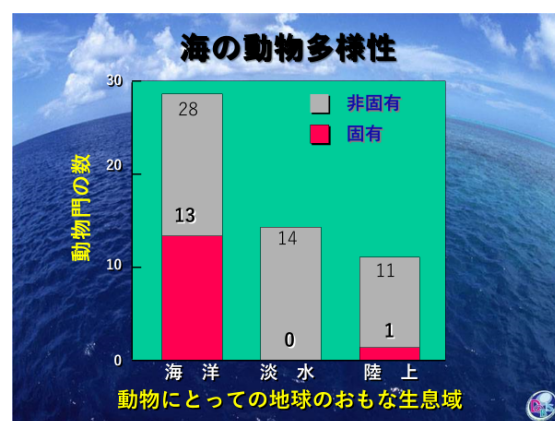
海の動物多様性に注目すると、生物の分類階級は下位から種→属→科→目→綱→門→界→ドメイン（超界）となる。

動物門の数を地球の生息域別にみると海洋が圧倒的に多く、固有の門も多い。海の生物が進化して陸上に上がってもなお多くの生物が海で暮らす場所であることを忘れてはいけない。

海の恵みの一つ、水産物の生産について、近年日本近海での漁獲量が頭打ちであること、シラスウナギ資源が世界的に減少し、ウナギが絶滅危惧種に指定されたことに危機感を持たねばならない。

また、巨大台風が相次いで発生することや、海がごみで汚染され、マイクロプラスチックによる魚や鳥への悪影響は、人の生業の結果であることを、人はもっと強く認識すべきである。

海の生物が陸に上がったメリットはなにか、それは、世界、宇宙を見やすくなったこと。陸上という、水分確保や温度調節の厳しい環境に出たことが、世界認識、宇宙認識への新たな可能性を拓いたといえる。



3. 進化の観点から世界を見る

この話はめったにしないのですが、進化についての考え方は実は生物のことだけでなく、世界に存在するメカニズムが生物に働いた結果起こることと考えている。このことを言っても社会に支持されないのであまり言わなかったが、最近このように考える人がだんだん増えてきた。

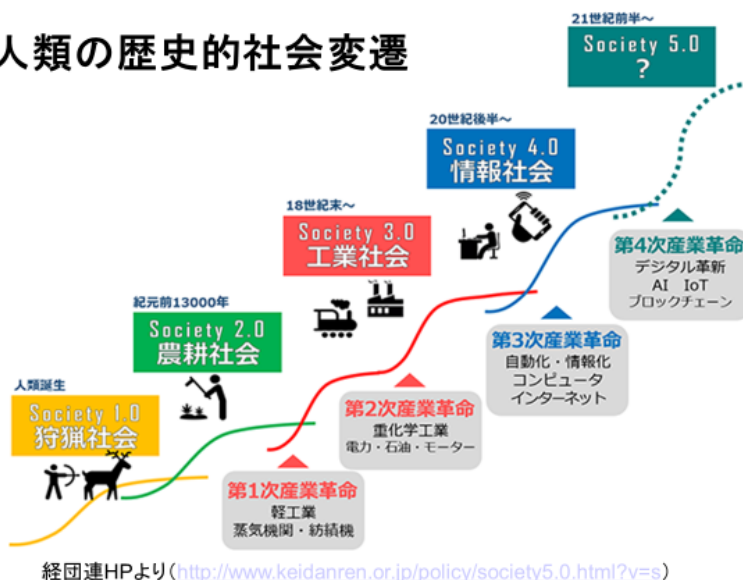
生物進化学を特殊進化理論（注 1）とすると、一般進化理論（注 2）があつていいと考えている。

1 世紀前、アインシュタインは特殊相対性理論を発表し、ついで一般相対性理論を展開した。でも、これはなんのことはない、世界は“諸行無常である”と言っている。

生物進化は偶然に突然変異が起こり、遺伝的に異なる DNA が作られ世代を重ね生物種内に広まる。遺伝的な違いを持つ個体の割合が増加し、遺伝的浮動＝偶然と、自然選択＝必然 加えて集団の大きさにも大きな影響をうけると考えられる。

4. 「進化」するヒトの社会：加速する社会の変化にどう対応するか

人類の歴史的社會変遷



人類の歴史的社會変遷をみると 狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会へと進み、21 世紀前半には Society5.0 の社会がやってくる。AI やビッグデータが活躍することで社会に変化が加速する時代に人はどう対応すべきか、以前はこれでよかったとか、自分自身の経験から得た知識や知恵のみでは社会の変化に対応しきれない。これからの大学教育の在り方も変化が必要で、生涯、断続的に学び続けられる場にならなければならない。その意味でいろいろな学びの場がますます必要になるが、「シニア自然大学校」はまさに先端に行くもので、トップランナーとしての活躍を期待しています。

ご清聴ありがとうございました。

【Q&A】

Q1：社会が物凄く早いスピードで変わっていく中、若い世代はどのような生き方をすべきでしょうか？

A1：このお答えはこれからの時代を担う若い人たちと共に考えていかねばならない問題であると思います
が、若い世代はこれからの時代を考えながら意外と面白くやっていくのではないかな。私は期待して
見守っていきたいと思っています。

Q2：サケとウナギは産卵場所を求めて海から川に、あるいは川から海へと大回遊するその必然性は何でし
ょうか、サケとウナギに限られるのはなぜでしょうか。

A2：なぜ大回遊するか、この研究は今の質問に答えられるところまで進んでいません。海は緯度の高いほ
うが栄養分に富む。サケは孵化後個体として成熟するまで北の栄養分の豊富な海で体力養い、川に戻
って産卵する。ウナギはメコン川など栄養分の多い環境で体力を養っているのではないかな。
淡水と海水にまたがり大回遊する魚種がサケ、ウナギに限られる理由も分かっていません。

【田中 克 先生コメント】

今日お話しいただいた内容の前半部分は、2017 年 6 月に発刊した田中克編「森里海を結ぶ（1）いの
ちのふるさと海と生きる」（花乱社）の第 1 章のトップに同じ表題で執筆いただいていますので、図書を
お持ちの方は復習してみてください。後半部分は、琉球大学学長になられて 2 年間、大学でどのような教育
をするか、どういう研究をするか、今求められる大学の役割などを念頭に、現在の状況をどう克服してい
くかについてお話しいただいたと理解しました。その中で感銘を受けたお話の一つは、陸上生活には水分確
保や温度調節など厳しい環境が待ち受けているにも関わらず、陸上に進出したことが、世界認識や宇宙認
識に新たな可能性を拓いたとのご指摘に“はっと”させられました。

ソサエティー5 まで行くと短い期間にどんどん変化していく。そのような世界でどう生きていくかとい
うことは本当に大きな問題ですが、まあ、我々シニア世代にとってはそんなに急がなくてもいいのでは
ないか、確かな価値観をもつことでクリアして行ける課題も多いのではないかな。そこにシニア世代の役割
があるのではないかなという気がします。

研究というのはやって見なければ分からない、だから研究する意味があると思いますが、ソサエテ
ィー5 の時代になり、短時間に結果を求められる時代、研究者はどうクリアするかという大きな問題に直
面することになります。

西田先生が最後に「シニア自然大学校は学びの場として時代の最先端に行くものだ」といわれたのを
聞きして“ほっと”しました。この言葉を励みに頑張っていこうと思います。

本日はありがとうございました。