

地球バイオゲノムプロジェクトの進捗 ～生物学におけるムーンショットで社会問題を解決～

1月18日付の国際学術誌「米国科学アカデミー紀要」で公開

令和4年1月18日

公益財団法人 かずさDNA研究所
大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所

- ◇ 地球バイオゲノムプロジェクト (EBP: Earth BioGenome Project) は2018年に始まった非営利目的の国際プロジェクトで、150万にもものぼる地球上に確認されている全ての真核生物^{*1}種のゲノム^{*2}DNAの配列情報を10年間でカタログ化するというものです。
- ◇ 地球上の全ての真核生物のゲノム情報を明らかにして、生物多様性^{*3}の保護や自然との共生を通じた人類社会の存続のための解決策を見出していきます。
- ◇ パートナー組織は18ヶ国からの48機関で、ゲノム解読に関する49の提携プロジェクトが進んでいます。国内からは、かずさDNA研究所と理化学研究所が加盟し、提携プロジェクトとしてそれぞれの機関から植物ゲノムデータベース「Plant GARDEN」と軟骨魚類のゲノム配列解析プロジェクト「Squalomix」が登録されています。
- ◇ 今回、EBPの計画にある3つのフェーズのうちの最初のフェーズが完了に近づいていることをうけて、活動の概要が報告されました。
- ◇ 現在ゲノム情報が公開されているのは6,480種で、これは知られている地球上の真核生物種の0.43%にすぎません。
- ◇ 様々な種類の真核生物のゲノムを解読して、その生物を特徴づける遺伝子等の情報を集積することにより、現代社会が直面している、健康や環境、食料、経済など様々な社会問題に革新的な解決策をもたらすための新たな科学的基盤を築くことができると期待されています。

(問い合わせ先)

<研究に関すること>

かずさDNA研究所 植物ゲノム・遺伝学研究室

研究室長 磯部 祥子 (いそべ さちこ)

国立遺伝学研究所 分子生命史研究室

教授 工樂 樹洋 (くらく しげひろ)

* 理化学研究所 生命機能科学研究センター 分子配列比較解析チームリーダーを兼任

<報道に関すること>

かずさDNA研究所 広報・研究推進グループ

国立遺伝学研究所 リサーチ・アドミニストレーター室 広報チーム

1. 背景

現在、微生物から人まで、重複を含めて 42 万を超える生物のゲノム配列が解読されています。地球バイオゲノムプロジェクト (EBP: Earth BioGenome Project) は、生物の中でも、特に真核生物について、地球上に棲息する 150 万にもものぼる全ての種のゲノム情報を 10 年間で明らかにしようとするもので、ジョン・F・ケネディ元大統領が 1961 年に発表した「アポロ計画」、イノベーションで課題を打ち破ろうとした「ムーンショット」の生物版と言えます。1990 年代からのゲノム配列解析技術、生物情報科学の進展に加えて、解析の自動化や人工知能技術が整った現代だからこそチャレンジできるプロジェクトです。全ての真核生物のゲノム DNA の配列情報をもとに、生物の新たな基盤をつくり、生物の多様性を理解し、利用し、そして保存することによる人類社会の存続のための解決策を見出していくことを目的としています。

2018 年にハリス A ルウィン (カリフォルニア大学デービス校)、ジョン・クレス (スミソニアン協会) とジーン ロビンソン (イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校) を中心として始まった EBP は、現在、18 ヶ国からの 48 機関のパートナー組織からなり、ゲノム解読に関する 49 の提携プロジェクトが進んでいます。国内からは、かずさ DNA 研究所と理化学研究所 (共に 2020 年加盟) が参加して、それぞれ、植物と軟骨魚類のゲノム解読で貢献しています。

解析対象となる真核生物のサンプル収集においては、自然史博物館、植物園、動物園や水族館など多くの生物の収集をしている機関や、ブラジル、コロンビア、インド、ペルー、マダガスカル、マレーシアやインドネシアなど、世界の生物多様性の多くが存在する国の科学者への協力要請が不可欠です。特に、生物多様性条約に基づき、遺伝資源へのアクセスに関するガイドラインと、その利用に伴う利益の公正かつ公平な分担に関するガイドラインを示した名古屋議定書⁴の原則を遵守し、EBP では参加者に対し、国内レベルでの生物多様性利用に関する規制の遵守を義務付けています。EBP はゲノム情報のデータ共有の方法を確立し、将来の科学的発見に向けて、永続的で自由にアクセスできるリソースを確保し提供します。

2. 国内研究機関からのプロジェクトへの貢献

(1) かずさ DNA 研究所

- ・植物ゲノムポータルサイト「PlantGARDEN」の開発

多数の種のゲノム解読を行った場合、これらの情報を格納して分かりやすく比較をするデータベースの存在が不可欠です。そこで、かずさ DNA 研究所では国の研究支援 (NBDC/JST 統合化推進プログラム) を受けて公開されている植物ゲノムを格納するデータベース「Plant GARDEN」を開発しています (<https://plantgarden.jp>)。現在、134 種・169 ゲノムの情報を格納しています。

- ・植物の全ゲノム配列解析

かずさ DNA 研究所では国内外の研究者と協力して様々な植物のゲノム解読を行っています。「米国科学アカデミー紀要」で公表されているデータではゲノム解読を行った種数が 19 で、EBP に登録されているプロジェクトの中で種数では第 12 位となっています。

(2) 国立遺伝学研究所/理化学研究所

・軟骨魚類ゲノム解析プロジェクト Squalomix (スクアロミクス) の運営

理化学研究所にてスタートした軟骨魚類ゲノム解析プロジェクト Squalomix を、国立遺伝学研究所の分子生命史研究室が進めています (<https://www.treethinkers.info/squalomix>)。国内外の水族館や臨海実験所と連携して、日本近海に多く棲息する種に注目して、多様なサメ類・エイ類の分子情報の収集を行い、発生・生理・内分泌のしくみに迫るための基礎情報を整えるとともに、脊椎動物全体のゲノムの進化を究めることをめざしています。

3. 地球バイオゲノムプロジェクトの進捗

10年間のプロジェクトは3つのステップからなり、フェーズ I の最初の3年間では、動物、植物、原生動物、真菌や微生物を含む真核生物における約9,400の分類学上の「科」におけるそれぞれ代表的な生物のゲノム配列を解読します。今回発表の論文は、2021年2月までのデータを用いてプロジェクトの進捗を報告しています。

フェーズ I: 生物の分類⁵ (生物/ドメイン/界/門/綱/目/科/属/種) の中で、各「科」を代表する一つの真核生物 (~9,400種類) のゲノム配列を3年以内に解読する。

フェーズ II: 生物の分類の中で、各「属」を代表する一つの真核生物 (~180,000種類) のゲノム配列をプロジェクトの4~7年目に解読する。

フェーズ III: 現在知られている全ての真核生物 (上記残りの~1,320,000種類) のゲノム配列をプロジェクトの最後の3年間で解読する。

EBP では、各生物に対して解析精度の高い参照ゲノム配列⁶を提供していくことを目的としますが、2018年からのスタートアップの2年間には、参照ゲノム配列作成方法の評価、地域や国家、国家間プロジェクトの組織化や、定例会や年次会合を通じたコミュニティ形成に力を入れました。2020年に開催したオンライン会議には、89ヶ国から3,000人の登録があり、プロジェクトに対する関心が世界的に高いことがわかります。2018年に比べ、提携プロジェクトの数も1.5倍となり、1,719種類の真核生物のゲノム配列を公的データベースに登録しています。そのうち316が参照ゲノム配列の基準を満たし、公的データベースにおける参照配列の50%を占めています。

2021年3月の時点でゲノム配列が公開されている真核生物種は6,480で、これは真核生物種の全ての科のうちの15.5%、属のうちの2.3%、種のうちの0.43%を占めています。まずはフェーズ I の目標達成に向けて全世界で協力しています。フェーズ I の目標を達成するためには、1日当たり9種の真核生物のゲノム配列を解読する必要がありますが、英国ウェルカムサンガー研究所では、1日あたり4つのゲノム配列を、真核生物ゲノムプロジェクトでは1週間に6つのゲノム配列を解読する計画を立て、目標達成を目指して解析が続けられています。2021年末までにフェーズ I の目標の9,400種類の真核生物の34%にあたる3,200種類のサンプルを準備しています。

2018年にはEBPの予算は10年間で47億ドルと見積もっていましたが、現在の貨幣価値を考えると、ヒトゲノムプロジェクトより予算は低く抑えられ、解析技術の向上により、得られるデータの質はより良くなっていると考えられます。

4. 将来の波及効果

EBPにより得られる150万種類の真核生物のゲノム配列情報をコンピュータ解析することにより、遺伝子をカタログ化し、そこに暗号化されているタンパク質の構造や機能がデジタルデータとして整理されます。それらを比較することにより、地球上の生物間における生態系の進化や役割、相互作用に関する基本的な新しい知識を得ることが可能になります。まだ知られていない新種の真核生物の発見につながるかもしれません。

人類がEBPの提供する情報を手にしたとき、地球上の生命に対する科学的解釈に変革がもたらされ、生物種の生態系における機能を理解し、その知識を社会に活用することができます。人間の活動や気候変動がもたらす動植物の絶滅危機や生物多様性など地球環境問題に対する解決策を、ひいては人類存続のための新たな提案が行われるでしょう。

また、脱炭素社会^{*7}（脱化石燃料）やカーボンニュートラル^{*8}が世界中で叫ばれている中、バイオプラスチックやバイオ燃料の開発を初め、生物資源を利用した持続可能な経済を目指すバイオエコノミー^{*9}戦略を進める上で、EBPによってもたらされる成果の経済的影響は非常に大きいものと予想されます。1990年から2003年に進められたヒトゲノムプロジェクトがそうであったように、プロジェクトへの投資に対するリターンは大きく、新産業の創出や雇用機会の増大のほか、そこから生まれる技術により、農業、食料、健康、医療、環境、産業のみならず、司法制度や国家安全保障にまで大きな影響を与えられと考えられます。

具体的な目標と期待される成果

- 1 生物学、生態系、進化に関する私たちの理解を見直し再活性化する
 - ・すべての既知の生物間の進化的関係をよりよく理解すること
 - ・地球上の種の分布と密度を完全に解明すること
 - ・生態系の構成と機能に関する新しい知識を生み出すこと
 - ・新しい種を発見すること
 - ・ゲノム進化を解明すること
 - ・進化の過程を推進する基本的な法則を発見すること
- 2 生物多様性の保存、保護、および再生を可能にする
 - ・生物多様性の持続における気候変動の役割を決定すること
 - ・人間の活動と侵入種が生物多様性にどのように影響するかを明らかにすること
 - ・希少種および絶滅危惧種の証拠に基づく保全計画を策定すること
 - ・損傷または枯渇した生態系を復元するためにゲノム資源を作成すること
- 3 社会と人間の福祉への還元を最大化する
 - ・人間の健康のための膨大な新しい薬用資源
 - ・感染爆発の予測と制御の向上
 - ・農業を改善するための新しい遺伝的変異
 - ・バイオベースの産業のための新しい材料と資源
 - ・環境の質とエコロジカルサービス^{*10}の改善

論文タイトル：The Earth BioGenome Project 2020: Starting the Clock.

著者：Harris A. Lewin, Stephen Richards, Erez Lieberman Aiden, Miguel L. Allende, John M. Archibald, Miklós Bálint, Katharine B. Barker, Bridget Baumgartner, KatherBelov, Giorgio Bertorelle, Mark L. Blaxter, Jing Cai, Nicolette D. Caperello, Keith Carlson, Juan Carlos Castilla - Rubio, Shu - Miaw Chaw, Lei Chen, Anna K. Childers, Jonathan A. Coddington, Dalia A. Conde, Montserrat Corominas, Keith A. Crandall, Andrew J. Crawford, Federica DiPalma, Richard Durbin, ThankGod E. Ebenezer, Scott V. Edwards, Olivier Federigo, Paul Flicek, Giulio Formenti, Richard A. Gibbs, M. Thomas P. Gilbert, Melissa M. Goldstein, Jennifer A.M. Graves, Henry T. Greely, Igor V. Grigoriev, Kevin J. Hackett, Neil Hall, David Haussler, Kristofer M. Helgen, Carolyn Hogg, **Sachiko Iso**, Kjetill Sigurd Jakobsen, Axel Janke, Erich D. Jarvis, Warren E. Johnson, Steven J.M. Jones, Elinor K. Karlsson, Paul Kersey, Jin-Hyoung Kim, W. John Kress, **Shigehiro Kuraku**, Mara K.N. Lawniczak, James Leebens-Mack, Xueyan Li, Kerstin Lindblad-Toh, Xin Liu, Jose Lopez, Tomas Marques - Bonet, Sophie Mazard, Jonna A.K. Mazet, Camila J. Mazzoni, Gene Myers, Rachel J. O'Neill, Sadye Paez, Hyun Park, Gene E. Robinson, Cristina Roquet, Oliver A. Ryder, Jamal S.M. Sabir, H. Bradley Shaffer, Timothy M. Shank, Jacob S. Sherkow, Pamela S. Soltis, Boping Tang, Leho Tedersoo, Marcela Uliano-Silva, Kun Wang, Xiaofeng Wei, Regina Wetzler, Julia L. Wilson, Xun Xu, Huanming Yang, Anne D. Yoder and Guojie Zhang

掲載誌：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)

用語説明

- *1) 真核生物：動物、植物、菌類、原生生物など、細胞の中に核と呼ばれる器官をもつ生物のこと。核をもたない原核生物である、古細菌や細菌とともに生物を分類する3ドメインに含まれる。
- *2) ゲノム：生物をその生物たらしめるのに必須な最小限の染色体（DNA）のひとまとまりで、ある生物のもつDNA上の遺伝情報の全体・総体を意味する。
- *3) 生物多様性：生態系、生物群系または地球全体に、多様な生物が存在していることを指す。
- *4) 名古屋議定書：2010年に名古屋市で開催された生物多様性条約第10回締約国会合（COP10）において採択された国際文書で、「遺伝資源の取得の機会とその利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分」を着実に実施するための手続を定めている。
- *5) 生物の分類：生物の種には学名（属名＋種小名または属名＋種形容語）がつけられている。さらに分類階級（生物/ドメイン/界/門/綱/目/科/属/種）がある（例：ヒト；真核生物/動物界/脊椎動物門/哺乳綱/サル目/ヒト科/ヒト属/*H. sapiens*）。
- *6) 参照ゲノム配列：ゲノム配列には個体差による塩基配列の違いがあるが、ある生物種の全ゲノム配列の手本になる配列のこと。
- *7) 脱炭素社会：地球温暖化の原因と考えられるCO₂の排出量を実質ゼロにする社会のこと。気候変動対策の国際的な枠組みである「パリ協定」が発効されて以降、その動きが活発化している。
- *8) カーボンニュートラル：人為的活動の際に、排出される二酸化炭素と吸収される二酸化炭素を同じ量にする、という目標。
- *9) バイオエコノミー：生物に由来する資源やバイオテクノロジーを活用して、長期的に持続可能な経済活動を目指す概念のこと。
- *10) エコロジカルサービス：人類が生物や生態系から提供される多くの資源とプロセスから得られる利益のこと。生態系サービス、エコサービスとも言う。具体的には、食料・水の提供、気候の制御、レクリエーションなどの精神的・文化的利益、光合成などによる酸素の供給や環境の保全などがある。

参考

EBP のホームページ URL : <https://www.earthbiogenome.org/>



パートナー機関 (18 ヶ国、48 機関)

シドニー大学、ラ・トローブ大学、オーストラリア博物館、バイオプラットフォーム (オーストラリア)、スペースタイムベンチャーズ、サンパウロ州立研究支援財団; FAPESP (ブラジル)、ダルハウジー大学、国際バーコードオブライフ、ブリティッシュコロンビアがん研究センター (カナダ)、チリ大学 (チリ)、北京ジェノミクス研究所、中国生物多様性保全・緑開発財団 (中国)、ロスアンデス大学 (コロンビア)、デンマーク自然史博物館 (デンマーク)、タルトゥ大学 (エストニア)、トランスレーショナル生物多様性ゲノミクスセンター、マックスプランク研究所 (ドイツ)、かずさ DNA 研究所、理化学研究所 (日本)、韓国極地研究所、韓国大学 (韓国)、メキシコ国立自治大学 (メキシコ)、オスロ大学 (ノルウェー)、キング・アブドゥルアズィーズ大学 (サウジアラビア)、カタルーニャ研究センター、ポンペウ ファブラ大学 (スペイン)、生命科学研究所 (スイス)、アールハム研究所、ウェルカムサンガー研究所、ケンブリッジ大学、キュー王立植物園 (イギリス)、リバイブアンドリストア、スミソニアン協会、スミソニアン保全生物学研究所、ハーバード大学、ベイラー医科大学、米国農務省、カリフォルニア大学サンタクルーズ校、カリフォルニア大学デービス校、ワンヘルス研究所、コネチカット大学、ノビム;カリフォルニア大学サンタバーバラ校、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校、サンディエゴ動物園、フロリダ大学、デューク大学、ジョージワシントン大学、ロックフェラー大学 (アメリカ)

図1 生物の分類階級における真核生物種のゲノム解読の進捗 (論文の図を参考、一部改変)
NCBI データベースに登録された 2021 年 3 月 4 日時点のデータ

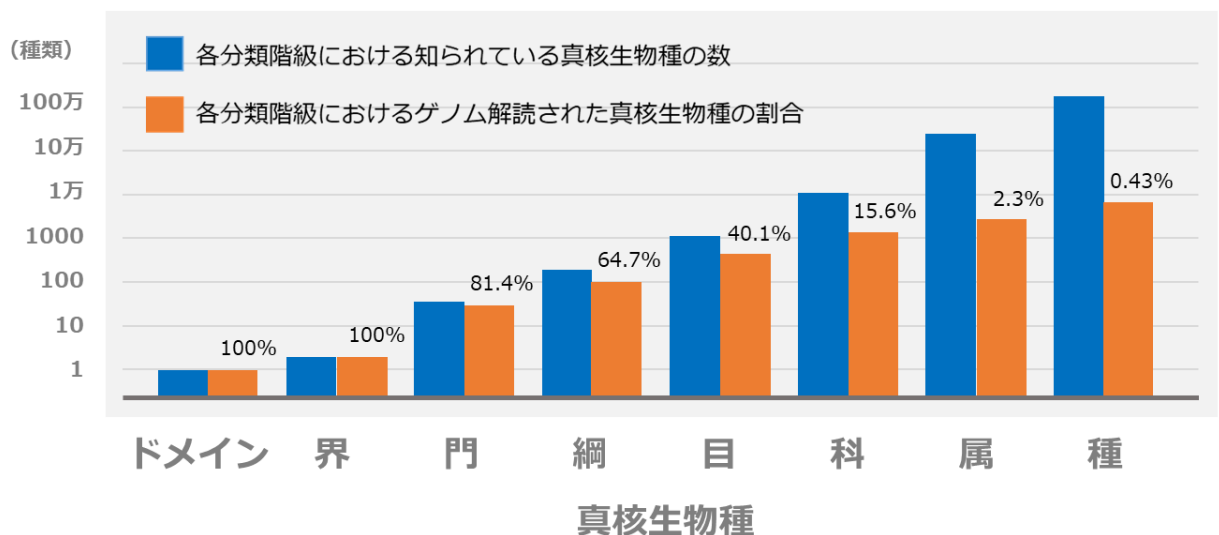


図2 ゲノム解読の提携プロジェクト (49 プロジェクト)

EBP のホームページより写真を転用、一部改変

<https://www.earthbiogenome.org/affiliated-project-networks>

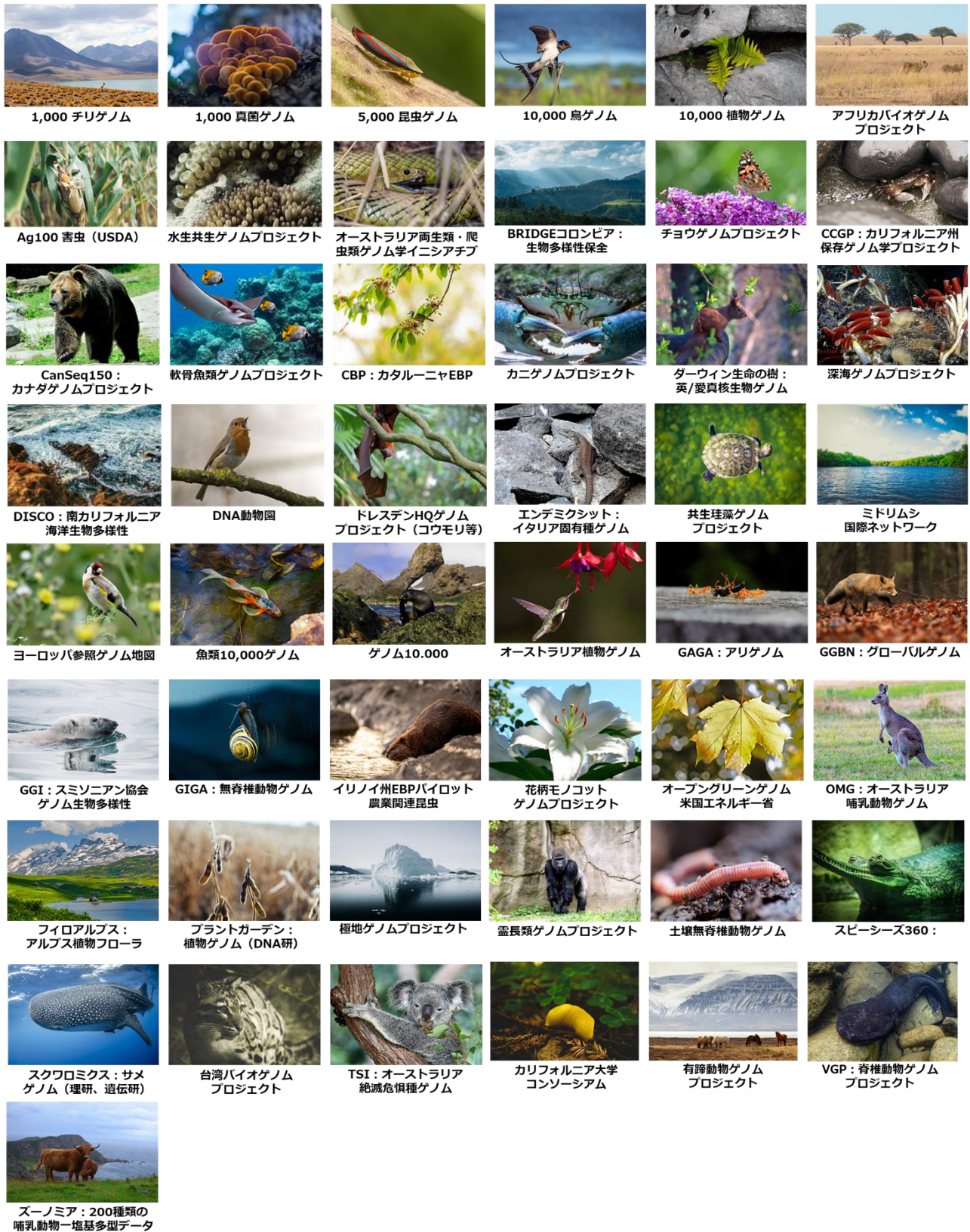


図3 地球バイオゲノムプロジェクトと近未来の社会

EBPの壮大なプロジェクトがもたらす情報から、これまで人類が知りえなかった多くの知識が生まれ、その知識を活かして、現代社会が直面している、健康や環境、食料、経済など様々な社会問題に革新的な解決策をもたらす知恵が生まれてくるでしょう。

