

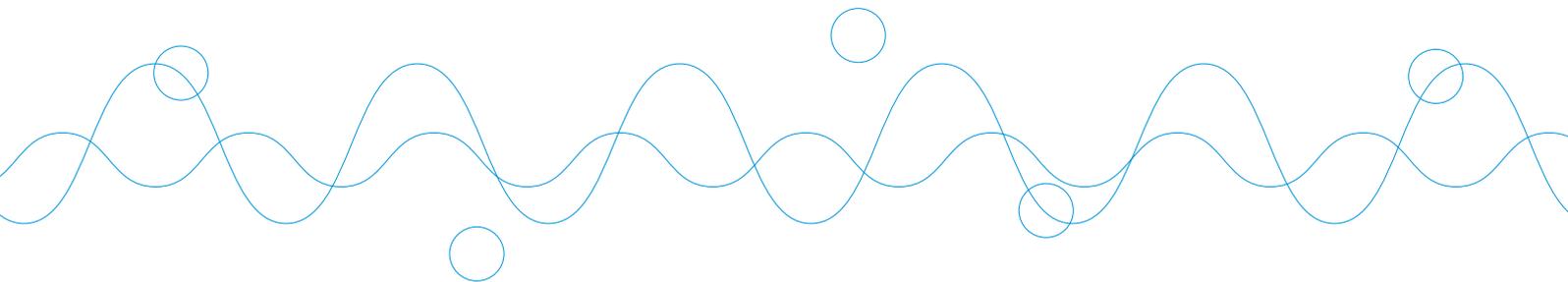
ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTA ACT CTCAGACC

戦略イニシアティブ

生態系の利用 - 保全連携研究

Integrative Research on Innovative Exploitation
and Conservation of Ecosystems

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011



戦略イニシアティブ

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

Executive Summary

本プロポーザルは、これからの社会の発展のためには、生態系の高度利用とその拡大が不可欠であると捉え、科学的知見と経済原理に基づき、生態系の利用とその基盤となる生態系の保全・再生・強化がなされるよう、両者の研究開発を連携し効率的に推進することを提案するものである。

生態系およびそれを構成する生物は、遺伝子資源、食料・医薬品・工業材料等の資源、環境制御機構等として社会にとって大きな価値を有するが、その価値が十分認識・利用されないまま、いわゆる開発行為によって劣化が進み、そのポテンシャルを失いかねない状況にある。これは、生態系の研究の多くが、その理解や保全自体を目的化していること、また生態系利用の推進者は、生態系を十分理解していないことが多く、生態系の保全は、利用のための基盤や手段としてではなく、「規制」であり開発の「障害」であると捉えがちであること、そのために両者は対立する概念だと捉えられ協力が進まないことによる。本来、生態系の保全と利用に必要とされる知見、科学技術は共通するものが多く、両者を関連づけて研究開発・実行することが有効である。

以上を踏まえ、緊急に研究開発を推進すべきものとして、以下の4つの領域を提案する。

1. 生態系およびそれを構成する生物を利用した食料・医薬品・工業材料と生産技術の研究開発

利用可能な新たな生物・生態系の探索とそれらの利用技術、生物・生態系を利用した低環境負荷・高効率有用物質生産技術。

2. 環境制御・調整機能を担う生態系サービスの劣化要因の解明とその影響評価および保全・再生・強化技術の研究開発

環境汚染や気候変動が、生態系と生態系サービス(生態系が人類にもたらす恩恵)に及ぼす影響についての高精度評価・予測技術、生態系および生物多様性の変化が気候・気象、水循環にもたらす影響についての高精度評価・予測技術。生態系の保全・再生・強化技術。

3. 生態系サービスの価値の調査・評価および順応的統合管理技術の研究開発

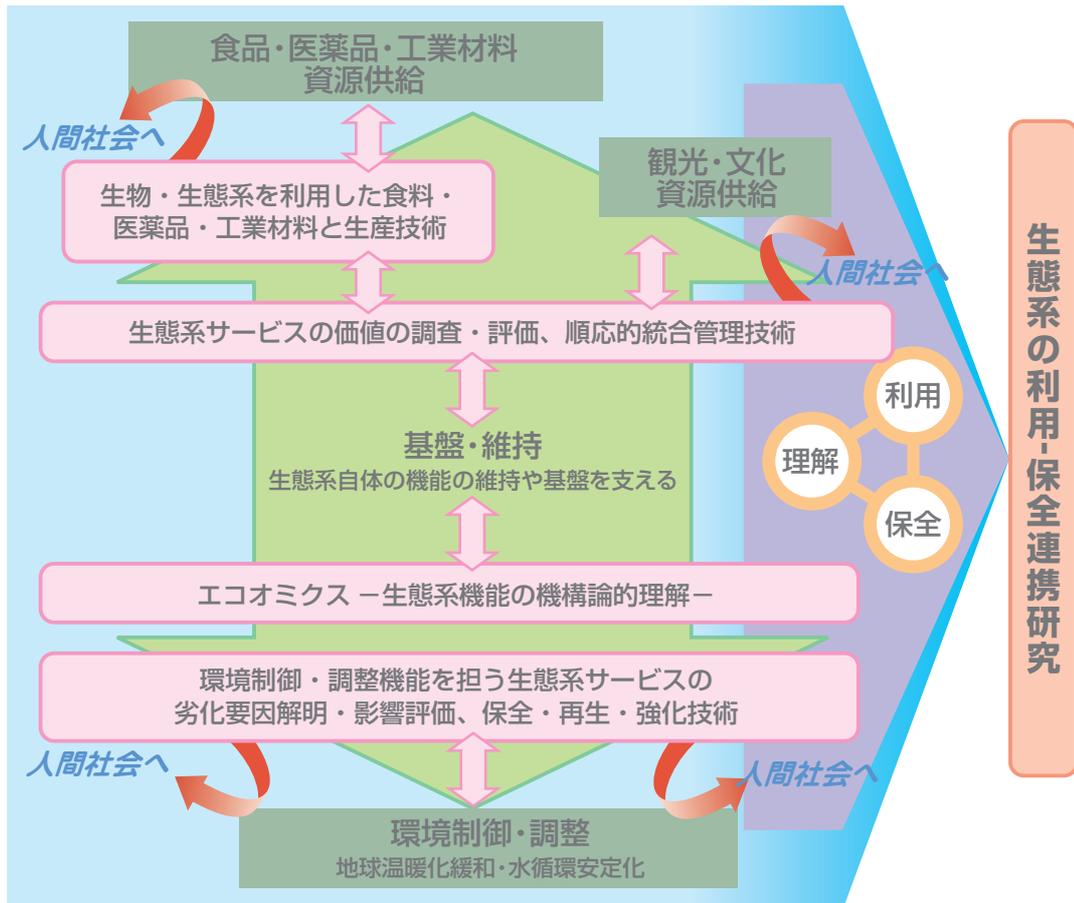
中長期にわたる生態系サービスの定量的価値評価技術、生態系サービスの潜在的供給力を最大限に利用可能とする管理・運用技術の研究開発。

4. エコオミクスー生態系機能の機構論的理解ーの研究開発

生態系の構成要素である多様な生物の相互作用や生物と物理的環境との相互作用の網羅的解析、および生態系自体を支える生態系機能やそれらがもたらす生態系サービスの維持機構の理解。

Executive Summary

生態系の利用 - 保全連携研究の概念図



CONTENTS

1	提案する研究の内容	5
2	研究投資する意義	8
3	具体的な研究開発課題	10
4	研究開発の推進方法	15
5	科学技術上の効果	16
6	社会的・経済的効果	17
7	時間軸に関する考察	18
8	検討の経緯	20

1. 提案する研究の内容

本プロポーザルは、科学的知見と経済原理に基づき、生態系の利用とその基盤となる生態系の保全・再生・強化がなされるよう、両者の研究開発を連携し効率的に推進することを提案するものである。

生態系およびそれを構成する生物は遺伝子資源、食料・医薬品・工業材料等の資源、環境制御機構等として、社会にとって大きな価値を有するが、その価値や損傷許容限界が十分認識・利用されないまま、いわゆる開発行為によって劣化が進み、そのポテンシャルを失いかねない状況にある。

今後予想される世界的な人口増加や工業化、およびその結果としての気候変動や大気・水・土壌の汚染に代表される環境悪化などに対処しつつ、持続可能な発展を実現し、豊かで健康的な社会を構築していく手段として、地球の長い歴史を経て蓄積された生態系・生物多様性、太陽エネルギーを化学エネルギーに変換し、さまざまな化学物質の形成を可能とする生物・生態系の利用は必須と言えるほどきわめて重要である。

従来から、生態系およびそれを構成する生物は、食料、医薬品およびその原料、工業材料等として、また環境低負荷型の生産技術として注目されては来たが、その利用は、その潜在的なポテンシャルを考えれば、まだ入り口の段階である。また、生態系は、地球温暖化およびその結果としての異常気象等の地球規模での環境問題の影響緩和に貢献していることは認識されているが、その機能の維持、強化は今後の大きな課題となっている。

これらの生態系の高度利用とその拡大のためには、生態系を構成するさまざまな生物の個体としての構造・機能と、生

態系としての構造・機能を理解し、生態系が持つ価値、提供しうる価値を調査・発見・評価し、利用する技術を開発すると共に、持続的に、さらには拡大して利用出来るよう、保全・強化することが必要である。

しかるに、生態系の研究の多くは、生態系の理解や保全自体を目的化しており、散発的で社会へのインパクトが限定されている。また、生態系利用の推進者は、生態系を十分理解していないことが多く、生態系の保全は、利用のための基盤や手段としてではなく、一種の「規制」であり開発の「障害」であると捉えがちである。そのため、本来は、生態系の保全と利用に必要とされる知見、科学技術は共通するものが多く、また、両者を関連づけて研究開発・実行することが有効であるにもかかわらず、両者は対立する概念だと捉えられることが多い。

本プロポーザルは、生態系の理解や保全は利用のための基盤であり手段であるとの考えに立ち、両者を総合的に、連携して推進することを提案するものである。

以上を踏まえ、以下の4つの領域の研究開発を総合的に、かつすみやかに推進することを提案する。

1. 生態系およびそれを構成する生物を利用した食料・医薬品・工業材料と生産技術の研究開発

これまであまり利用されてこなかった生物・生態系を新たな資源とすべく、それらの資源性と利用技術についての研究開発を行う。例えば、感染症や生活習慣病に対し有効な医薬品となりうる生物由来の物質の探索

1. 提案する研究の内容

及び探索方法、大半が天然の稚魚に依存している養殖魚種の有用品種探索・開発技術、深海に存在する豊富な栄養塩を海表面まで循環させる湧昇流を積極的に利用した環境低負荷型・大陸棚利用養殖技術、生態系に存在する多様な生物間に見られる相互作用を利用した超低農薬・超低肥料で高収穫を可能とするグリーン農業技術など。

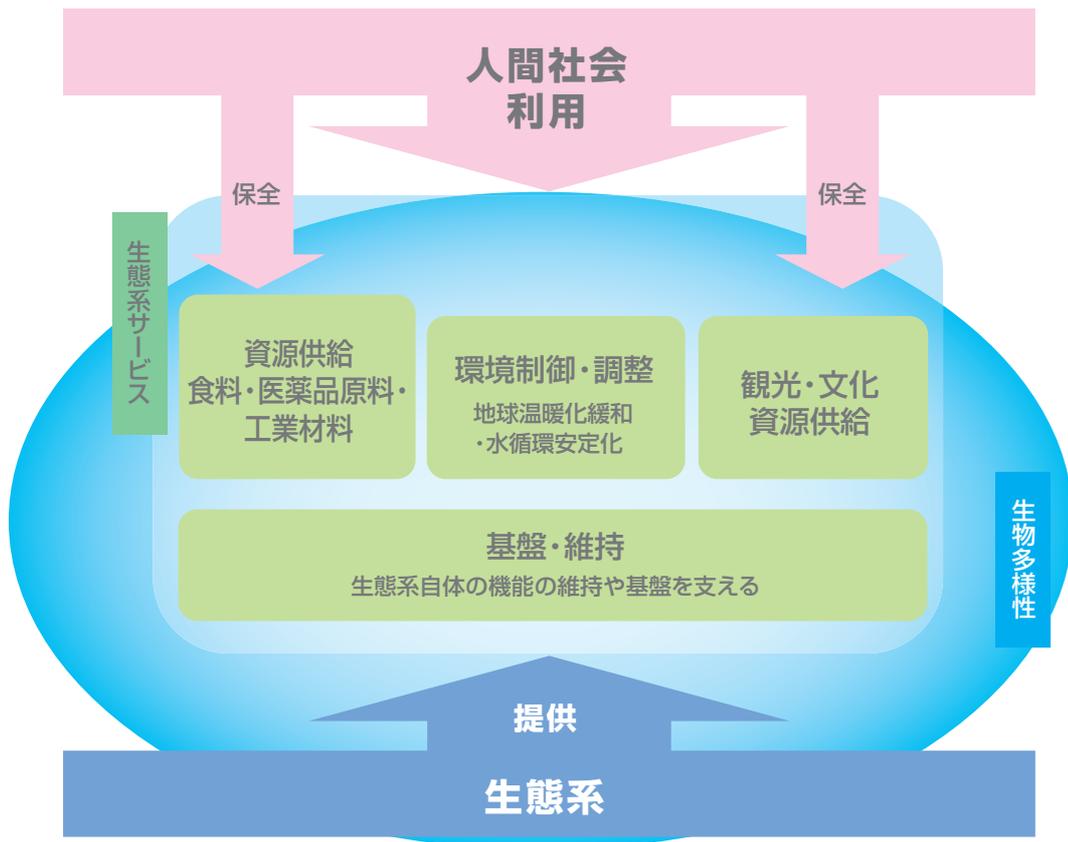
2. 環境制御・調整機能を担う生態系サービスの劣化要因の解明とその影響評価および保全・再生・強化技術の研究開発

環境汚染や気候変動が、生態系と生態系サービス(生態系が人類にもたらす恩恵)に及ぼす影響とともに、生態系および生物多様性の変化が気

候・気象、水循環、浄化にもたらす影響を精度良く評価・予測出来るようにする。これにより、今後の生態系変動の予測とともに、気候・気象を含め、環境の安定性を維持するために生態系をどの程度保全・強化する必要があるか、どの程度の損傷まで持続可能かなどを評価することも可能にする。この評価に基づき、生態系の保全・強化の優先度の決定を可能にする。また、予測技術・モデルの信頼性、精度を、大規模閉鎖系プラットフォームを用いた実証実験により評価し、必要に応じ改善する。

3. 生態系サービスの価値の調査・評価および順応的統合管理技術の研究開発

遺伝子資源、食料、医薬品、工業



生態系サービスと人間社会の関係を表す概念図

材料等の資源としての価値のほか、生産技術や環境制御機構、観光・文化的資源としての価値など、生物・生態系サービスの価値を、短期的な視点だけではなく、中長期の利用ポテンシャルを含め多様な時間スケールで定量的に評価する。さらに、それらの生物・生態系サービスの潜在的供給力を最大限利用可能とする管理・運用技術を開発する。

4. エコオミクスー生態系機能の機構論的理解ーの研究開発

生態系の構成要素である多様な生

物の相互作用や生物と物理的環境との相互作用を網羅的に解析することで、生態系自体を支える生態系機能やそこからもたらされる生態系サービスの維持機構を理解することを目指す。相互作用の自動観測を可能とする機器・システムの開発も含む。この研究開発は、生態系の利用や保全・再生・強化の基盤となる。

2. 研究投資する意義

本分野に研究投資すべき理由は以下の通りである。

- 魚介類をはじめとする生物資源の持続的な利用、さらには利用拡大を可能とする。

現在、魚介類の養殖に用いられている稚魚・稚貝の大半は、天然起源である。生態系および生物多様性を保全することにより、養殖のための稚魚・稚貝を安定確保することが可能となる。

日本人は、タンパク質源の多くを海産物に依存しているが、世界的にもその量が増大している。食料資源安定確保のために、海産物の増産につながる資源管理技術や適正な資源獲得量の評価技術を開発する必要がある。適正な保全策が講じられないと、今世紀中頃には、食用可能な魚介類が地球上から大半が消滅するおそれがあるとの報告もある (Science 314号 (2006年11月))。

- 清浄な淡水が持続的に利用できる。これは、国際貢献になると同時に有力な産業技術となる。安全な食料の安定確保にも資する。

地球上で、人間が利用可能な淡水の量は極めて限られており、10億人以上が安全かつ十分な量の淡水を得られていないと言われている。生態系は、淡水の浄化、保水機能を担っており、この機構の解明と効率的な利用技術の開発は、国際貢献として重要であると共に、重要な産業となりうる。

海外における淡水の供給量の減少や汚染は、穀物輸入可能量や安全性を脅かすなど、日本への影響も大きい。日本は、年に約1,700万

トンの穀物を輸入している。1トンの穀物の生産には、1,000トンの水が必要であるとも言われており、穀物輸入量を確保するために、生産地の淡水供給の維持は重要である。

また、日本のような先進国においても生態系が持つ淡水の浄化機能およびその産物である高い水質の経済価値は非常に大きい。たとえば、ニューヨーク市は、水道水の安定供給のために、人工的な浄化施設の建設・維持 (建設に60-80億ドル、維持に3-5億ドル/年) に代えて、水源である2河川の集水域の土地を購入 (15億ドル) し、流域保全プログラム (できるかぎり自然の保全・再生を図る) を実施することで、良好な水質の維持と経済的負担の軽減を実現している。

- 二酸化炭素および一酸化二窒素等の温室効果ガスの吸収や発生量抑制に資する。

現在、地球上で最大の二酸化炭素吸収源は、海洋の植物プランクトンを含む植物である。この植物の二酸化炭素吸収機能が損なわれると、地球温暖化の一層の進行が懸念される。本研究の成果は、原生植物の保全に加え、植生の回復や緑化技術を通じて、植物の炭酸固定機能の維持・強化を可能とする。また、温室効果ガスのひとつである一酸化二窒素の大半は、化学肥料の分解により生じていると言われている。土壌中の微生物と作物の相互作用を利用し、窒素ニュートラルに近い作物生産を可能とする技術は、その改善策の有力な手段となりうる。

- 育種原種あるいは食料、医薬品や工業材料等を生産する生物・生態系およびその遺伝子資源の保全および効率的な探索、育成に適した新種の育種などを可能とする。

海域も含め、遺伝子資源の探索は、未開拓な部分が多い。穀類や野菜などの品種改良はかなり研究されているが、さらに加速することが望まれる。また、医薬品などを多く生産できる家畜や養殖に適した魚類の育種は未着手と言える段階である。乾燥地の砂漠化の防止など、耐環境性に優れた植物の育種も必要性が高い。

- 短期から中期にわたる気候・気象および生態系変動予測が可能となる。

中短期の予測が可能となれば、それに応じた作物種を栽培するなどにより、安定的な生産が可能となる。また、高精度の予測は、気候変動に起因する食料不足や穀物価

格の高騰など国際紛争要因の事前解消につながる。

- 生態系・生物多様性の合理的な保全・再生・強化が可能になる。

社会活動、生活の重要な資源である生態系サービスを最大限享受するためには、その保全・再生さらには強化が必要である。その構造と機能、さらには価値を理解し、あるべき姿を明確にし、社会的合意を得ること、それを実現する合理的な対策技術を提供する。

ちなみに、Costanza,R.らの推定によれば、世界全体の生態系サービスの経済価値は、年間33兆ドルにのぼる(Nature 378号、1997年5月)。これは、世界各国の国内総生産(GDP)の上位10ヶ国のGDPの総和(31.3兆ドル)よりも大きく、生態系サービスの利用拡大と、その価値の維持・強化により得られる利益は、極めて大きいと言える。

3. 具体的な研究開発課題

主な研究開発課題は以下の通りである。これらの一部は、すでに国のプロジェクトとして取り上げられているものもあるが、生態系との相関、生態系の利用と保全の連携という視点で推進・強化する必要がある。

1. 生態系およびそれを構成する生物を利用した食料・医薬品・工業材料と生産技術の研究開発

これまであまり利用されてこなかった生物・生態系を新たな資源とすべく、それらの資源性と利用技術についての研究開発を行う。

■ 生態系サービスを担う遺伝子群およびタンパク質のスクリーニングおよびそこで得られた多様な生物の遺伝子資源のライブラリー拡充と遺伝子資源の確保のための研究開発

陸域、海域の遺伝子資源の探索、整備はこれからの可能性の大きな課題である。また、個々の生物からではなく土壌や水界などの環境中から生物のゲノムあるいは生物群のメタゲノムを直接抽出し、その遺伝子が生態系で果たす機能を明らかにするエコゲノミクス、あるいは遺伝子の代わりにタンパク質を抽出するエコプロテオミクスを用いることで、抗生剤、抗菌剤、抗ウイルス剤等の医薬品や健康補助食品、工業材料等より効率的な開発が期待できる。有用な形質を有した品種等の発見も期待できる。

生態系サービスを担う遺伝子群およびタンパク質のスクリーニングおよびそれらのライブラリー拡充のためには、高精度ハイスループットな自律・自動解析装置の開発が重要となる。遺伝子スクリーニングのための機器は既に存在するが、それに供

するサンプル処理の段階には、まだハイスループット化が進んでいない部分が多い。また、遺伝子解析機器の更なるハイスループット化により、有用遺伝子発見の高効率化が期待できる。

特にライブラリー拡充においては、採取されたデータの分析・解析などのインフォマティクス技術の開発が重要である。

■ 生物・生態系を利用した低環境負荷生物生産技術の研究開発

養殖漁業、農業、林業をはじめとする生物生産において、病虫害による被害の軽減は重要な課題である。殺虫剤、抗生剤、抗菌剤等の化学物質による病虫害制御は大きな効果を持つ反面、ヒトや環境への副次的な被害や病害虫の耐性獲得など問題も多く、病虫害制御のための化学物質使用量の低減が期待されている。生態系に存在する多様な生物間に見られる相互作用を利用した超低農薬・超低肥料で高収穫を可能とするグリーン農業技術などは可能性が大きい。

また、単一種のみを養殖・栽培するモノカルチャーを時空間的に避けることで、病虫害やそれらを媒介する生物群の大発生を制御できることが理論的に示されている。このような漁業・農業生態系管理技術を開発し、環境低負荷型の生物技術の確立を目指す。

大半が天然の稚魚に依存している養殖魚種の有用品種探索・開発技術、深海に存在する豊富な栄養塩を海面まで循環させる湧昇流を積極的に利用して、プランクトンの増殖を促し飼料とする環境低負荷型・大陸棚利用養殖基盤技術などの研究開発も

海洋国である日本にとって大きな可能性を持つ。

■ 生物・生態系を利用した環境浄化技術の研究開発

海水・淡水あるいは土壌中の微生物等を利用し、有害物質を分解・回収する技術（微生物を散布し、環境浄化や改善を図るバイオレメディエーションやその場所に在来する微生物の活性化を促す物質を散布し、微生物を増殖させ、その場所の環境浄化や改善をはかるオーギュメンテーション）の研究開発。

これらの研究開発に必要な、生態系における生物間の相互作用の理解と安全性の評価を含む。今後、世界的に、劣化した生態系サービスの再生が重要な課題となることが予想され、副次的な影響が少ない本技術の開発が期待される。

2. 環境制御・調整機能を担う生態系サービスの劣化要因の解明とその影響評価および保全・再生・強化技術の研究開発

環境汚染や気候変動が、生態系と生態系サービスに及ぼす影響とともに、生態系および生物多様性の変化が気候・気象、水循環、浄化にもたらす影響を精度良く評価・予測出来るようにする。これらの評価モデルの信頼性、精度を、大規模閉鎖系プラットフォームを用いた実証実験により評価し、必要に応じ改善する。

さらに、気候・気象の安定性を維持するために、どの生態系をどの程度保全・強化する必要があるかを明らかにするとともに、それを達成する技術開発を目指す。

■ マルチスケールでの生物・生態系観測・評価および生態系管理の基盤情報システムの構築

日本と日本の環境に深く関係するアジア地域を中心に、陸域・海域の生物・生態系の観測を多様なスケールで実施する。また、これまでに行われてきた衛星、調査船等による気候・気象に関するデータなどとあわせて解析し、生物・生態系に気候・気象が及ぼす影響を評価する技術を確立する。

これまで多様な目的の下に行われてきたさまざまな環境観測のデータを再解析に利用するメタ解析技術の開発もあわせて行う。

この研究課題を実施し、結果をデータベース化することで、影響予測モデルの精度を高めるとともに、生態系の順応的統合管理の基盤的な知見を提供できる。

■ 気候変動および水・土地・資源利用、汚染と地域規模・地域の生物・生態系および生態系サービスの相互影響評価技術の研究開発

とくに、農林水産業に与える影響を評価できるようにすることが重要である。

気候変動の生物・生態系およびそのサービスに対する影響予測モデルは、これまで比較的長期間の影響評価のために開発されてきた。しかし、気候変動や水などの資源利用様式の改変による影響は既に顕在化してきており、とくに、淡水循環や農林水産業への短・中期的な影響予測モデルの開発とそれに基づく評価技術の確立が急務である。

これまでの将来影響予測モデルでは、気候変動を主な要因として、生

物・生態系の変化は単に結果として扱われることが多かったが、生物・生態系の変化は気候・気象、水循環等の環境変化の要因でもある。その影響評価を可能とするモデルの開発とその精度検証を行う必要がある。また、生態系は、環境浄化機能を有しており、その機能についても評価する必要がある。

これらの評価モデルの構築にあたっては、気候・気象観測データ、漁獲高などの生物生産に関する経済資料、植物相・動物相に関する記載等、これまで異なる目的で採集・蓄積されてきたデータ群を利用し、再解析することで、様々な影響を定量的に解析する必要がある。

そのためのデータマイニング・メタデータ解析・データベース化に関する技術開発も必要である。

■ 大規模閉鎖系プラットフォームによる影響予測モデルの精度検証および生態系回復力の実証研究

閉鎖実験系プラットフォームを構築し、影響予測モデルの予測精度を検証する。予測モデルの実用化には、実証研究が必須である。

さらに、閉鎖実験系内のモデル生態系を用いて、自然・人為攪乱により損傷を受けた生物・生態系の回復力評価を行う。生態系の回復力評価が可能になれば、生態系の損傷可能限界の推定精度が向上し、生態系利用の拡大が期待できる。

■ 生態系による温暖化対策技術の影響評価

植物が有する二酸化炭素の固定能を用いた温室効果ガス削減の技術開発と共に、特定の生物群の機能強化による他の生物群や環境への影響も

評価しておく必要がある。そこで、閉鎖実験系内のモデル生態系を用いた評価技術を開発する。これらの技術は、副次的な環境影響の少ない、生態系利用の温暖化対策技術の基盤となる。

3. 生態系サービスの価値の調査・評価および順応的統合管理技術の研究開発

遺伝子資源、食料、医薬品、工業材料等の資源としての価値のほか、生産技術や環境制御機構、観光・文化資源としての価値など、生物・生態系サービスの価値を、短期的な視点だけではなく、中長期の利用ポテンシャルを含め多様な時間スケールで定量的に評価する。そのため評価手法も研究開発する。さらに、これらの生物・生態系サービスの潜在的供給力を最大限利用可能とする管理・運用技術を開発する。

■ 遺伝子資源・生物資源・生態系の価値評価と生物・生態系データベースの構築

世界的にみても価値が高く日本との関係も深いアジア地域の、遺伝子資源・生物資源・生態系の経済的価値を評価し、それらを資産として運用するシナリオおよびシナリオ実現のための要素基盤技術を開発する。

この課題が、従前の環境経済分野と異なる点は次の2点である。

第一は、評価にあたって考慮する時間スケールである。従来の研究では、考慮される時間スケールは、最長でも30年程度であった。しかし、遺伝子資源・生物資源・生態系の利用は本質的に長い将来に及ぶものであり、数百年以上にわたって利用することも可能であることを考え、長

期にわたる評価を行う点である。

第二に、機構論的なアプローチにより、これまでは明らかにされてこなかった生態系サービスを明らかにする点である。

価値評価に長期にわたる時間スケールの導入と、生態系の機構論的な理解によって、次世代以降の人々が得られる遺伝子資源・生物資源・生態系サービスの価値も評価に含めることが可能になる。また、回答者の意識や教育により結果が異なる仮想市場評価法などの方法に比べ、より科学的な根拠に支えられた価値評価が可能となる。ただし、未解明なサービス、価値が残されていることも、プラス α として意識しておくことも重要である。

■ 順応的統合管理技術の研究開発

生態系サービスの価値評価と2.の研究を合わせ、価値の高い生物種(資源種)を支える生物種群・生態系の基盤・支持機能を考慮し、生態系の保全・強化の優先度の決定や、資源種の利用拡大、さらにはサービスを最大化するような管理を可能にする。ここで資源種とは、食料、医薬品およびその原料、工業材料、育種原種、工芸品材料、鑑賞・愛玩用生物種等、市場化された生物種などを含む。

従来の資源管理手法は、資源性の高い資源種の確保を目的に、資源種と直接的に相互作用する生物種や環境のみを考慮の対象としたものであった。しかし、生態系は、生物資源を生産するだけでなく、気象の緩衝作用を担ったり、保水や汚染物質の浄化の場であったり、レクリエーションの場でもあったりする。また、

現時点では資源種であるとは言い切れない生物種も、生態系の基盤支持において、多大な貢献をしている可能性がある。さらに、特定の生態系サービスに関する機能を強化した場合、他の生態系サービスや生物多様性が失われる可能性もある。

本研究では、そのような生態系サービス間のコンフリクトの研究を含め、順応的管理の概念を拡張し、より統合的に生態系サービスの持続的利用さらには利用の拡大を目指す。

例えば、近年の世界の海洋の漁獲可能な魚類の生息量は、近代漁法導入以前の1/10程度にまで減少したと言われている。しかし、適正な生態系管理・運用を行った地域では、比較的短期間に資源量が回復するとの報告もあり、順応的統合管理を実施することで、持続的に利用可能な生態系資源の拡大が期待できる。さらに、養殖による生物生産量の向上を保証するためには、供給のほとんどが天然由来の養殖用稚魚やエサとなる魚種の確保が必須である。そのためにも、順応的統合管理技術は有効である。

4. エコオミクスー生態系の機構論的解—の研究開発

生態系の構成要素である多様な生物の相互作用や生物と物理的環境との相互作用を網羅的に解析することで、生態系自体を支える生態系機能やそこからもたらされる生態系サービスの維持機構を理解することを目指す。そのための観測、解析およびその機器・システム開発を含む。

■ 生態系の網羅的観測とその機構解明 生態系の構成要素である多様な生

物の相互作用や温度、湿度、太陽光などの物理的環境の作用を網羅的に解析し、生態系および生態系自体をささえる生態系機能やそこからもたらされる生態系サービスの維持機構を理解することを目指す。この研究は、生態系の利用拡大・高度利用や、利用限界の評価保全・再生・強化の基盤となる。

■ 生態系の測定、解析技術、機器・システムの研究開発

生物間の相互作用や物理環境との関係についてのパラメータの自動、遠隔測定技術およびそれらのパラメータを解析する技術が必要である。その技術シーズが蓄積しつつある。たとえば、米国の全米生態観測ネットワーク(NEON)計画では、各種のモニタリング技術や得られたパラメータの通信集積技術の導入が予定されており、日本でも地球シミュレータ等のスーパーコンピュータのハード面での発達やインフォマティクス

やモデリング等のデータ解析技術などの進展がある。

■ 生物多様性が生態系の安定性に及ぼす影響の機構論的理解と生態系回復力評価技術の研究開発

生物多様性が生態系の安定に寄与していることが定性的に知られているが、その機構は明らかでない。そこで、生物多様性が生態系の頑健性維持に果たしている役割を機構論的に明らかにすることを目指す。

また、生態系の回復・強化に、生物多様性が果たす役割の定量的評価と、その評価技術の信頼性を確認することが必要である。そのために、閉鎖実験系による実証的研究をおこなう。

これらの研究を通じて、生物生産に大きな被害をもたらす赤潮などの単一生物種の爆発的増殖が生じる機構の解明とその対策技術の構築を目指す。

4. 研究開発の推進方法

利用と保全是個別に検討されることが多いが、両者に必要とされる知見、科学技術は共通するものが多く、また、両者を関連づけて研究開発、実行することが有効であり、両者の研究開発を連携し効率的に推進することを提案する。

生態系・生物多様性は、物理、化学、経済、社会的因子などによる影響を常に受け、変化していること、また、localな現象と global な現象との相関があることを念頭に置き、研究開発を推進する必要がある。global な生態系・生物多様性を対象とした研究開発の多くは、国連をはじめとする国際機関により国際共同プロジェクトとして実施されているが、これらの国際共同研究プロジェクトに対する日本の研究者の参画は極めて限られたものとなっている。国際共同研究プロジェクトへの参画および主導のための助成の充実、それらに参加する研究者の資格を公的とする等の改善も進める必要がある。

国内の特定の研究開発拠点に所属する人材に限らず、国研・公的研究機関・大学および民間に所属する研究者のなかから、個々の課題の遂行にもっとも適した人材を選定し、遂行してもらう必要がある。一定規模以上の公募研究では、応募された研究課題の優劣というより、機関間での競争となる可能性がある。重要性が高い研究課題の研究開発を有効に推進するためには、新たな研究拠点の構築を含め、研究チームの構成を、柔軟に行う必要がある。

研究期間は、7年程度を上限とした従来の大型のプロジェクトに加え、より長期的に行う必要がある。環境を対象とした研究では、各種の環境パラメータの継

続的な採取が不可欠であり、通常の5年ないし7年という助成期間は明らかに短い。また、研究期間を延ばすことで、各種の国際共同プロジェクトに対し、研究者が、個々の研究者としてではなく、日本の代表として参加することが可能となる。それによって、各種の国際プロジェクトで、日本がより主導的な役割を果たすことが可能となる。

助成により収集したデータは、規格化し、原則的に完全に公開する。規格化されたデータを公開することで、民間企業等が実施する環境アセスメントの精緻化と簡易化が容易となる。また、データの二次利用が可能となることで、数理科学分野など異分野の研究者が環境研究に参入する際の障壁が低くなり、データ解析技術などの発展が期待できる。

従来、本分野では、とくに生物に関するパラメータの測定の大きな部分を人力に依存している。とくに、生物種の判別は、一定以上の訓練を受け実務経験を有する人が基本的に行っている。この生物種の識別の過程がさまざまなプロジェクトにおいて、技術的な律速となっている。そこで、生物種の識別をはじめとする各種の観測・測定をこれまで以上に機械化・自動化すべきである。そのための機器・システムの開発は、民間企業の参加を促し、産学共同により推進することが有効である。

生物・生態系を持続的に利用するためには、人間社会がそれらのサービス・機能に依存していることを、社会に広く理解してもらう必要がある。その事実を明確に科学的に示すアウトリーチ活動なども必要である。

5. 科学技術上の効果

生態系機能を駆使した温室効果ガス抑制技術の研究開発は、人類が直面しつつある最大の課題である地球温暖化対策として必須であると同時に、科学技術として従来のディシプリンを超えた、大きなフロンティアを構成する。工学、生物学、気象学、数理科学、統計学等の融合と新たな科学技術シーズの創出が期待される。

生態系は、時々刻々変化する物理的環境と多様な生物群の相互作用、および生物間の相互作用から成り立っている極めて複雑で精緻なシステムである。このシステムの機構および機能の解明と頑健性・脆弱性などの評価が進展する。このような機構の解明は、新たな知をもたらすと思われる。また、これらの評価技術の進展により、科学的根拠に基づいた利用と保全が可能となる。

地球上に存在する生物はなぜこれほどに多様であり、また多様な生物がなぜ共存できるのかという問いは、生命学の根元的な問いでもあるが、現在の科学は、十分に解答することができない。これまでも、いくつかの仮説が提唱されてはいるが、十分に検証されているとは言い難い。その大きな理由は、いまだに生態系の理解が十分ではないことである。本プ

ロポーザルで提案している組織的な生物間相互作用の観測・評価により、その理論モデルの構築と検証が進展する。

生態系に何らかの作用を加えた場合の変化を予測することは著しく困難である。それは、生態系のさまざまなレベルの現象で見られる不確実性に起因している。生態系に関する全般的な理解を深めることで、それらの不確実性の範囲を狭め、生態系およびそれが関連する環境に関する種々の評価・予測の精度を向上させることが可能となる。

生物間の相互作用や生態系の群としての機能の解明、遺伝子・タンパク質ライブラリー、アジアを中心とした生態系基盤情報データベース等は、医薬学等に加え、進化学等のより基盤的な生命理解に貢献する。

生物生産における病虫害被害および人間の感染症等、生物の感染と伝搬の機構は、社会的に影響が大きい研究分野であるが、その生物学的な機構が十分に解明されていない。また、生態系の変化・変容にともない新たな病虫害・感染症が発生するとも言われている。本プロポーザルで提案する研究開発は、新興の病虫害の発生メカニズム解明に貢献する。

6. 社会的・経済的効果

以下のような、生態系サービスの持続的利用、利用の拡大、高度化のための技術が開発される。

- 物質的なもの
 - 生物資源(穀物・果実・堅果・魚介類・キノコ・バイオマス・抗生剤・抗がん剤・抗カビ剤・抗菌剤など)の利用
 - 養殖用の種苗・稚魚等の生産
 - 安全で清浄な淡水の確保
- 調節・制御に関するもの
 - 二酸化炭素の吸収の維持・強化
 - 浄水・保水・治水能力の維持・強化
 - 気候・気象の緩衝作用の維持・強化
 - 生物生産における病虫害制御
- 遺伝子資源に関するもの
 - 育種原種など遺伝子資源の維持と探索・利用拡大
 - 有用物質生産種の育種

バイオマスなどによる化石資源の代替は、化石燃料の需給緩和、温室効果ガスである二酸化炭素の排出量の削減に直結し、生態系の保全・強化は、大気中の炭素の固定に寄与する。

日本を含むアジア地域の環境保全は、異常気象等に起因する自然災害の発生確

率の低下につながると期待される。また、アジア地域の多くは、日本の食料供給源となっているため、この地域の環境を保全し、生物生産に適した環境を維持することは、日本にとって安全な食料を安定的に確保することに直結する。例えば、健全な生態系を維持することで病害虫の爆発的発生の回避ができると、農薬・肥料・抗生剤等の投入量を削減できる。

遺伝子組み換え作物等の利用について、的確な安全性評価を行うことが可能となる。今後世界的に高まる食料需要を満たすために、遺伝子組み換え作物の有効利用が必要になると予想される。遺伝子組み換え作物の利用が、ヒトおよび環境に悪影響を及ぼさないこと、あるいは悪影響を及ぼさないように対策することが可能であることを科学的に実証し、利用に対する理解を促進していく必要がある。本研究は、それに貢献する。

生物多様性・生態系の機構論的理解により、生態系の利用限界をより明確な形で設定できるため、開発派と自然保護派の不要な対立の回避や環境低負荷型土地利用様式の決定などが可能となる。

7. 時間軸に関する考察

生態系に関する研究は、対象が複雑であると同時に、変化の観測に時間を要するため、他の研究に比べ、長期間にわたることになる。

生態系の利用－保全連携研究は今から総合的に取り組み、成果を逐次実用化することが望ましいが、欧米に後れをとらないためには、ここで提案した技術を活用した本格的な産業化、社会への普及を、今後20ないし30年程度で実現すべきであり、また実現可能と考える。また、利用の基盤となる生態系・生物多様性の維持・強化も急がれる。2025年頃、現在と同等の生態系サービス維持されていることが世界的な目標とされているが、そのためには、2015年頃までに、「遺伝子資源・生物資源・生態系の多様な時間スケールでの価値評価技術」の確立および「生態系が提供する食料・医薬品・工業材料の持続的生産を可能とする順応的統合管理技術」の構築を目指す必要がある。2020年頃までには、その技術の実用化推進と、「制御・調整に関する生態系サービスの持続的運用を妨げる要因の解明とその影響評価基盤技術」の一部実用化を実現すべきであろう。この間に、「制御・調整に関する生態系サービスの持続的運用を妨げる要因の解明とその影響評価基盤技術」のより広汎な実用化と「エコオミクス」研究を推進する。

欧米では、生態系・生物多様性の保全を謳いつつ、生物資源の開発や囲い込みを行う動きが顕在化しつつある。例えば、米国は、生物多様性条約を批准せず、製薬会社等を含めた独自の「生物多様性に関する国際協力グループ (International Cooperative Biodiversity Groups)」を形成し、生物多様性の保全と共にその資源利用に関する科学技術開発を行っている。また、世界的な海産資

源の需要の高まりに応じて、マグロなどの資源管理の重要性が世界的にも注目を集めつつある。

これらの動向に先駆けて、我が国でも、現在の資源量およびその有効な管理および高度利用・利用拡大に関する研究開発を進めておく必要がある。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第1作業部会による第4次報告書(2007年2月1日)は、今世紀末で1.8～4度の気温上昇を予想している。気温上昇により、陸上植生の大幅な変化や魚介類の産卵場所ともなっている珊瑚礁や藻場の大幅な損失、淡水の需要の増加などが予想されている。

国連により実施され、その結果が発表されつつあるミレニウムエコシステムアセスメントによれば、生態系の劣化および生物多様性の減少が顕著となっている。とくに、海産資源の劣化は著しく、有効な保全策を講じない場合、今世紀中頃には、食用可能な魚介類がほとんど枯渇するという予測もある。環境の重要性あるいはその経済的価値は、失われて初めて痛切に認識されることが多いが、問題が顕在化する前に対策を講ずることが重要である。

環境に対する国民の意識も高まりつつある。2006年9月9日付で内閣府が発表した世論調査の結果によれば、自然を保護することが「最も重要」と考える人の割合が多数派となっており、本研究に対する支持は得やすい状況にある。

他方、現在までに、環境モニタリング機器の発展や低価格化、モニタリング機器によって得られたデータの解析機器の発展および解析技術の発達等、技術シーズがみられる。

加えて、コンピュータ科学の発展にと

もない、大量のデータを操作する手法が発達してきた。また、それらのデータを解析するインフォマティクス的手法、とくにベイズ統計学をはじめとする統計学の発展も著しい。その結果、これまでは、検出することが不可能であった相互作用

の検出や、統計的な有意性の推定が可能となりつつある。これらにより、いま本格的に取り組めば、生態系の機構を、定量的に解明することが可能となってきている。

8. 検討の経緯

持続可能な発展を目指した生態系・生物多様性に関する研究開発戦略を立案するため、以下の検討会・ワークショップ、G-TeC（国内外研究・技術比較）調査を行った。これらの活動結果に基づき、生態系の理解、保全、利用において、とくに重要かつ国として推進する必要がある研究開発課題を複数抽出した。次にそれらの課題の中で、技術シーズに富み、産業・社会への貢献が期待できる課題と推進策を検討し、本提案にまとめた。

検討会・ワークショップ、G-TeC 調査を通じて、抽出された課題は、以下の通り。

(1) DNA 解析技術を用いた生物多様性・生態系の評価（環境ゲノム研究）の推進

環境から個別の生物種を単離せずに生物群集全体の遺伝子を抽出し解析する DNA 解析技術を用いて生物多様性・生態系の評価を行う。群集を対象に、ある機能遺伝子の発現を網羅的に解析することで、そこに存在する生物種やその生物種が環境変化に対してどのように応答するかを解明できる。

(2) 海洋環境の保全と海域の生物多様性を持続的に利用するための環境管理技術の確立

日本人は、海洋生物から多くのタンパク源やミネラル分等を摂取している。また世界的にも海洋生物資源の利用が拡大している。海域における生物多様性研究とその利用方法に関する研究を進める必要がある。

(3) 経済価値評価に基づく生物多様性の利用と保全の意志決定手法の確立

定量的な将来予測に基づいて生態系・生物多様性の利用と保全を行うために、生物多様性の経済的価

値の正当な評価が必要である。また、利用・保全の判断を行うための手法が必要である。

(4) 生物多様性と土地利用様式変化の関係の解析

土地利用様式の変化に起因する生態系・生物多様性への影響を定量的に把握し、環境負荷を評価する技術の確立が必要である。

また、欧米諸国が生態系の機能と構造に関する研究と遺伝子資源の確保に精力的に取り組みつつあり、日本を含むアジアの生態系にも注目をしていること、環境ゲノム研究の重要性に注目し、米国エネルギー省（DOE： Department of Energy）や全米科学財団（NSF： National Science Foundation）などでも精力的に研究を推進しつつあることが明らかとなった。

実施した検討会、ワークショップ、G-TeC 調査は以下の通りである。

■ 2005年1月18日 検討会開催

生態系の影響評価、変動予測研究を進める際に問題となる、「不確実性」を抽出し、それらをどのように制御するかについて議論した。

■ 2005年3月 G-TeC 米国調査（陸域生態系）

生態系・生物多様性研究において、先進的な米国機関を訪問し、日本との比較調査を行った（G-TeC レポート—陸域生態系・生物多様性の研究—日米調査・比較報告、CRDS-FY 2005-GR-02）。

■ 2005年4月23日 国際シンポジウム開催

主催：JST, SCJ, DIVERSITAS
後援：MEXT, ME, 日本生態学会, 東大 COE DIVERSITAS 科学委員(アメリカ、フランス、イギリスなど、約10カ国の研究者)と、生態系・生物多様性についての動向と今後の研究方向について意見交換を行った。

■ 2005年4月24日 ワークショップ開催

上記の検討会、国際シンポジウムでの議論をふまえ、日本が国として推進すべき研究開発課題を検討した(科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ-持続可能な発展を目指す生態系・生物多様性研究開発戦略プログラム-報告書、CRDS-FY 2005-WR-02)。

■ 2005年11-12月 G-TeC 欧米調査(海域生態系)

主に海域の生態系・生物多様性研究において先進的な、欧州(イギリス、オランダ、ノルウェー)、米国の研究機関を訪問し、日本との比較調査を行った(G-TeC レポート-海洋生物資源の持続的利用と海洋生態系の保全管理技術-、CRDS-FY 2005-GR-06)。

この他にも適宜、専門家を個別に訪問するなど、情報収集・意見聴取につとめた。

上記の検討会、シンポジウム、ワークショップ、G-TeCなどに協力を頂いた方々は以下の通りである(所属は参加時点)。

生田和正、(独)水産総合研究センター

養殖研究所部長；岡本信明、東京海洋大学副学長；奥田敏統、国立環境研究所室長；岸道郎、北海道大学大学院水産科学研究院教授；栗山浩一、早稲田大学政治経済学部助教授；小池勲夫、東京大学海洋研究所教授；小泉博、岐阜大学流域圏科学研究センター；甲山隆司、北海道大学大学院地球環境科学研究院教授；木暮一啓、東京大学海洋研究所教授；近藤逸人、東京海洋大学海洋工学部助教授；桜井泰憲、北海道大学大学院水産科学研究院教授；櫻本和美、東京海洋大学海洋科学部教授；佐竹暁子、プリンストン大学JSPS海外特別研究員；白山義久、京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所長；竹中明夫、国立環境研究所総合研究官；田中克、京都大学フィールド科学教育研究センターセンター長；椿宜高、国立環境研究所上席研究官；時田恵一郎、大阪大学サイバーメディアセンター助教授；中静透、総合地球環境学研究所研究部教授；永田俊、京大大学生態学研究センター教授；西田睦、東京大学海洋研究所教授；西山恒夫、北海道東海大学工学部教授；平松一彦、東京大学海洋研究所助教授；福井学、北海道大学低温科学研究所教授；細田昌広、国土環境(株)環境情報研究所長；松田裕之、横浜国立大学環境情報研究院教授；下直、東京大学農学研究科助教授；山形与志樹、国立環境研究総合研究官；山崎秀勝、東京海洋大学海洋科学部教授；山中康裕、北海道大学地球環境科学研究院助教授；鷲谷いづみ、東京大学農学研究科教授；渡邊信、国立環境研究所領域長；渡邊良朗、東京大学海洋研究所教授

戦略イニシアティブ

生態系の利用-保全連携研究

Integrative Research on Innovative Exploitation
and Conservation of Ecosystems
CRDS-FY 2006-SP-17

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

制作担当 井上グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5214-7481

ファクス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

平成19年3月

© 2007 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTCGCC AATTAATA

TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA C CTA ACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

0011 1110 000

0100 11100 11100 101010000111

001100 110010

0001 0011 11110 000101

