

港内ラグーンによる水産資源増加試験(提案)

Fishery resource increase test by lagoon in the harbor

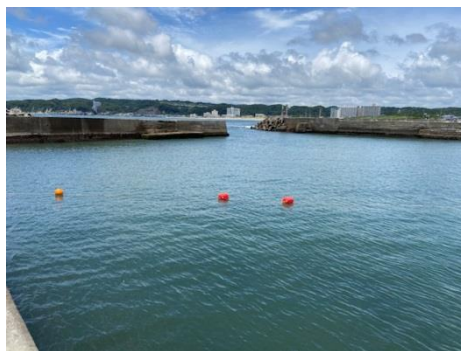
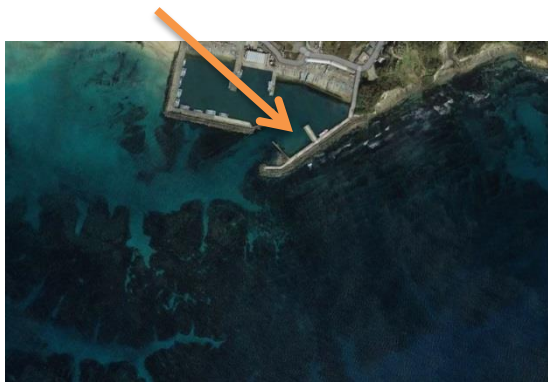
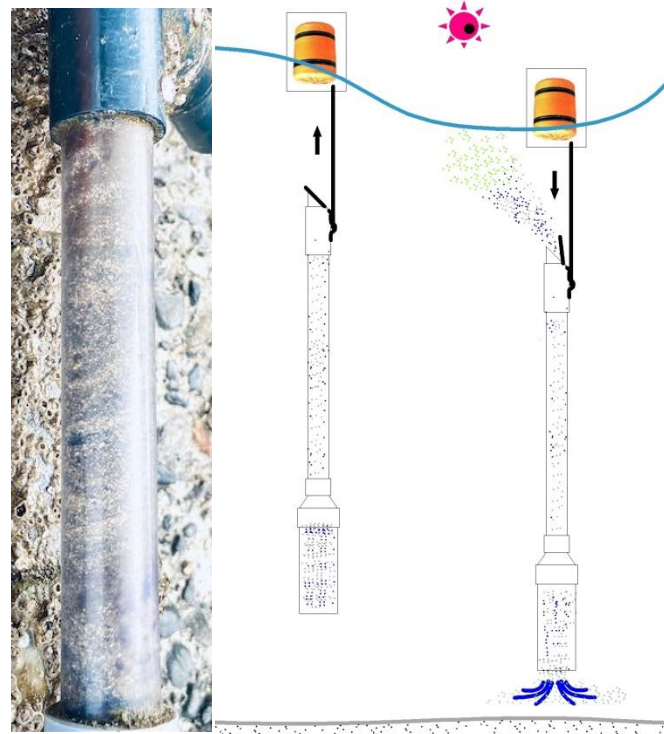
1) 目的: 海洋耕作(養分汲み上げ)による水産資源回復調査

2) 方法: 人工湧昇(波動ポンプ)による底層栄養水再循環促進

- ①砂と底泥の引き上げによる小魚へのエサ供給となるか。
- ②底層養分拡散による植物プランクトン増加は起こるか。

3) 計画:

- ①波動ポンプ(上昇流発生タイプ)の約10基設置
- ②生態系の観察・確認機器の設置等の設置
- ③波動ポンプの耐久性確認(改良・改善)



参考となった海外論文:

「波力を利用した人工湧昇による魚類資源増強」



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

Ocean &
Coastal
Management

Ocean & Coastal Management 46 (2003) 901–915

www.elsevier.com/locate/ocecoaman

オーストラリア グリフィス大学 ゴールドキャンパス校

Brian Kirke* (ブライアン・カーク)

School of Engineering, Griffith University Gold Coast Campus, PMB 50, Gold Coast Mail Centre, Queensland 9726, Australia

概要

海洋漁業は、乱獲により世界的に衰退している。世界で最も生産性の高い海洋漁場を支えている自然の湧昇流を模倣することで、栄養価の高い海洋深層水(DOW)を表層に送り込み、食物連鎖の最下層にある植物プランクトンを養うことで、問題を解決することができる。

様々なこの目的のために、様々なタイプのポンプと動力源が提案されている。この記事では、プロトタイプスケールでコスト効率よくコンセプトを実証するために、シンプルな波力ポンプを提案します。濃厚な栄養分を含んだDOWの希釈と濃密なプランジングの問題に対する可能な解決策が議論されている。さらに、この提案の2つの利点についても議論する。

波のエネルギーを利用することで、市場の近くに比較的穏やかな漁場を作る

ことができる。
非常に大量の冷たいDOWを汲み上げることで、

表面温度を下げ、グレートバリアリーフの一部でサンゴの白化を抑えることができるかもしれません。

1. はじめに

最近、世界の商業魚資源の75%が平均持続可能レベル以上で漁獲されていると推定されています [1]。この状況は、世界の人口増加に伴ってさらに悪化する可能性があり、次の2つのいずれかが起こらなければならない。不可能ではないにしても、消費を規制するか、生産性を向上させるか。

狩猟・採集から耕作・牧畜へと変化したことで、この数千年の間に地球の人口は大幅に増加しましたが、海洋ではそのような変化はあまり見られませんでした。

農業技術の中には、土地に悪影響を及ぼすものもありますが、持続可能であることが証明されています。これらの成功した技術は、自然のプロセスを模倣しています。例えば、Yeomans [2]は、チゼルプラウと灌漑によって生物学的に活性な土壌の深さを増やすことができることを示し、また Grocock [3] は、

栄養豊富な粘土質の下層土と貧弱な砂質の表層土を混合することで、生産性を向上させる方法を示しています。海洋漁業は、まだ狩猟採集の段階にあります。限りある資源をさらに乱獲するための効果的な方法を開発するのではなく、資源を増加させるために持続可能な方法で生産性を向上させる技術を開発し、資源を増やす方法を見つけるべきです。

ほとんどの海洋動物や植物は、水柱の上部40mに生息しています[4]。彼らが死ぬと底に沈みます。浅い沿岸水域では、栄養分がリサイクルされ、これらの地域は高い生産性を持つことができます。しかし、水深が約40-100mよりも深くなると、栄養塩は海面下に沈んでしまいます。100m以上の深海になると、栄養塩は腐食帯の下に沈み、海洋深層水(DOW)を豊かにします。海洋食物連鎖の最下層を形成し、光を必要とする植物プランクトンが利用できなくなります。植物プランクトンは成長するために光を必要とし、海洋食物連鎖の最下層を形成します。栄養素が再び食物連鎖に加わるのは、この栄養豊富なDOWが表層に出てきて初めて成立する。これは温暖な海洋では、温かい表層水と冷たいDOWとの間には密度差があるため、一般にこれは起こりません。その結果、ほとんどの熱帯・温帯の海の生産性は低いものとなります[4]。しかし、高緯度の冷たい海や、高緯度から冷たい極地水が流れてくる地域では、海面温度は約4℃まで下がり、密度は海底と同じになります。そして、栄養豊富なDOWは乱流混合によって容易に表層へと運ばれる。DOWの上昇流はいくつかの海岸付近でも発生し、特に

アフリカ南部や南米の西海岸では、海洋循環によりDOWの上昇流が発生します。これらの自然湧昇域は、世界で最も生産性の高い海洋漁場の一部に対応しており、世界の海洋自然生産量の90%を占めています[5]。

2. 自然の湧昇を模倣する

現在、この自然の湧昇プロセスを模倣して、

自然の湧昇がない地域で海の魚の生産量を増やすことができる

のではないかと期待が高まっています。数百メートルの深さから、栄養豊富なDOWを大量に噴出させることで表層部と深層部の密度差は2~3kg/m³程度しかなく、これでは自然界の養分が自然混合によって表層に到達するのを妨げるには十分であるが、これを克服するために必要な機械的エネルギーは、後述するように比較的小さいものです。大量の養分の豊富な海洋深層水を、比較的小さな力で汲み上げることができる。過剰な希釈をせずに光帯内に維持するための低コスト・低メンテナンス技術が見つかれば、市場に近い場所を選んで人工的に湧き上がらせ、それによって収穫コストを削減することができる。

波のエネルギーを利用して揚水すれば、波のエネルギーが減り、比較的穏やかで快適な漁場になります。

これは、オーストラリアの中西部沿岸のように、「年間を通して続く強い南風のために多くの漁獲日数が失われる」、「かなり大きな海(2m以上)のために漁業や調査活動が困難になる」地域では有益なことです[6]。また、波エネルギーの採取場所を慎重に選択することで、海岸浸食を減らすことができるかもしれない。魚の生産量が増える可能性があるだけでなく、次のような可能性も示唆されている[7]。

台風が発生する海域で非常に大規模な人工湧昇が行われれば、海面を十分に冷やして台風を防ぐことができる、

あるいは少なくとも台風の規模を小さくできると提案されている[7]。この先見性のある提案は、一見すると自然のプロセスに対する危険な干渉のように見えるかもしれませんが

森林伐採や砂漠化などの人間の介入による他の影響とは異なり、簡単に元に戻すことができます。

アップウェリングは、徐々に規模を拡大して実験し、予期せぬ有害な影響が生じた場合には中止または規模を縮小することができる。大量の冷たい水を地表に汲み上げることで得られる。

もう一つの利点は、珊瑚の白化現象が起きているグレートバリアリーフの水温を下げる効果も期待できます。台風やサイクロンと同じように、ごくわずかな温度変化が決定的な違いを生むことがあります。

水温の変化は非常に小さいものですが、台風対策とは異なり、サンゴの白化を防ぐことができます。

成功すれば拡大することができます。

3. 人工湧昇の実施に対する障壁

コンセプトの新しさと、設計のベースとなるプロトタイプの実用経験がないことが人工湧昇の実施の障壁となっている。

民間投資家は政府は実績のない技術に資源を投入することに慎重になる傾向があり、次のような疑問が解消されるまで多額のベンチャーキャピタルを提供することは難しい。

*海面近くに放出された冷たい高密度の深層水は、再び、植物プランクトンが利用できないような栄養分を含んだ噴出ゾーン以下のレベルまで沈んでしまうのだろうか？

* 栄養塩類は混合によって希釈され、その濃度は植物プランクトンの生産性に大きな影響を与えないほど低くなるだろうか？

* コンセプトを証明するには、どのくらいの流量が必要か？

* 必要な深さから必要な量の水を持ち上げることができる非常に大きなポンプを、嵐の影響を受け、メンテナンスがほとんどない外洋に建設し、配置し、動力を与えるにはどれくらいの費用がかかるでしょうか？

* 創出された生産性の高い地域で魚を獲る権利を誰が持つのか：誰が支払い、誰が利益を得るのか？

しかし、潜在的な利益は非常に大きいため、これらの障壁を克服し、プロトタイプ開発のための可能なコンセプトデザインを検討する価値は十分にあると思われます。模型では、簡単な波力装置を使って水を汲み上げることができる実証されていますが、これらの模型は、魚の数を測定的に増やすには小さすぎます。また、海洋温度差発電(OTEC)を利用した野心的な大規模プロジェクトを提案するには、まだまだ遠い道のりです。

今必要とされているのは、低コストで大流量のシステムであり、人工的な湧昇によって魚類資源が実際に経済的に増加することを実証することである。



上記のこの記事では、上記の懸念事項を取り上げ、波力を利用した慣性ポンプコンセプトの設計変更を提案する。これは、この技術の開発において、これまでテストされてきた小型モデルを超えて、経済的に実現可能な次の段階を提供すると著者は考えている。

4. プランジングとダイリューション

冷たくて濃い栄養分を含んだ水は、単純にポンプで水面上げて放流することができます。

しかし、冷たい高密度の深層水と暖かい表層水が出会うサーモクラインでは、中性浮力レベルまで「急降下」または「沈下」する傾向があります。TaitとDipper[8]によると、サーモクラインは通常、低緯度地域では100~500mの深さにあります。光合成が可能なユーフォティックゾーンは、夏季には中緯度で40~50m、澄んだ水であれば、低緯度地域では100m以上になります。200m以下は無栄養状態、つまり光合成ができない状態です。そのため、ほとんどの場合、サーモクラインに突入した水は、すぐに植物プランクトンが利用できなくなり、ほとんど成果が得られません。

暖かい表層水に排出された冷たい栄養豊富な水は、混合によって希釈され、密度差が減少するため、急降下する傾向があります。これは、密度差を小さくして急降下させるためですが、同時に栄養分も希釈されます。希釈度が高すぎると栄養塩濃度の増加は拡散しすぎて明らかな測定可能な効果をもたらさないかもしれない。また、効果があったとしても、それを定量化することは困難である。

密度の異なる周囲の流体に入る流体の「ブルーム」と「ファウンテン」の混合について多くのことが書かれている(例えば[9,10]参照)。混合の程度は多くの要因に依存するが、そのうちのいくつかは制御可能である。例えば、吐出速度、吐出口の位置や向きなど、制御可能な要素もある。Liu [11] は人工的な湧昇の文脈でプランジングと希釈の問題を考察しています。Liuのモデリングでは、0.95m³/sの流量を様々な深さでモデル化したところ、初期の希釈度は、地表からの流出では47:1、550mの深さの放流では約10:1まで低下し、平衡水深は地表の放流では50m、深さ50mでは75mとなる。混合の割合は、波の影響により、表面近くでより大きくなります。前述の[8]の図から、これらの平衡水深に沈んだ希釈された栄養塩を含む海洋深層水は、低緯度地域の中緯度ではなく、低緯度では藻場にとどまることとなります。この程度に希釈されたDOWが有用な栄養塩濃度を提供するかどうかを評価するためには、栄養塩濃度を知る必要がある。生産性を高めるために必要な濃度と生産性を高めるために必要な濃度を知る必要がある。Gauthier[5]やMcKinley and Takahashi[12]によるいくつかのデータを表1に示す。表1にはGauthier[5]とMcKinley and Takahashi[12]のデータを、表2には、Liu[11]が予測したように、DOWが沈降帯に汲み上げられ、混合によって希釈される地表付近の栄養塩濃度の予測値である。表1と表2の比較は非常に限られたデータに基づいていますが希釈はDOWポンプの利点を十分に打ち消す可能性があることを示唆している。したがって、少なくとも概念実証の初期段階では、希釈を最小限に抑えるべきである。この問題を解決するために、Gauthier [5]は

栄養豊富な水を環礁のラグーンに送り込み、そこでは分散して希釈されないようにすることを提案している。外洋のように分散して希釈されることはありません。限られた量の栄養豊富な水であっても、すぐに測定可能な大きな効果を得ることができます。

栄養不足の浅い沿岸水域の近くに深層水が存在する場合、ポンプを使って生産性を向上させることができるかもしれません。DOWを浅い沿岸水に送り込むことで生産性を向上させることができるかもしれない。より密度の高いDOWは、やはり底面に沿って重力流を形成し、深みに戻っていく傾向がある。しかし、外洋のように垂直に落ちていくほど急速には失われない。自然に閉じ込められるような底質がない場合は大きな膜をフロートで水面下に吊り下げ、そこにDOWをポンプで送り込むことができる。しかし、これではコストが大幅に上昇してしまうため、ゴーティエの環礁案が初期の概念実証には最適な選択肢と思われる。

4. プランジングとダイリューション

冷たくて濃い栄養分を含んだ水は、単純にポンプで水面に上げて放流することができます。

しかし、冷たい高密度の深層水と暖かい表層水が出会うサーモクラインでは、中性浮力レベルまで「急降下」または「沈下」する傾向があります。TaitとDipper[8]によると、サーモクラインは通常、低緯度地域では100～500mの深さにあります。光合成が可能なユーフォティックゾーンは、夏季には中緯度で40～50m、澄んだ水であれば、低緯度地域では100m以上になります。200m以下は無栄養状態、つまり光合成ができない状態です。そのため、ほとんどの場合、サーモクラインに突入した水は、すぐに植物プランクトンが利用できなくなり、ほとんど成果が得られません。

暖かい表層水に排出された冷たい栄養豊富な水は、混合によって希釈され、密度差が減少するため、急降下する傾向があります。これは、密度差を小さくして急降下させるためですが、同時に栄養分も希釈されます。希釈度が高すぎると栄養塩濃度の増加は拡散しすぎて明らかな測定可能な効果をもたらさないかもしれない。また、効果があったとしても、それを定量化することは困難である。

密度の異なる周囲の流体に入る流体の「ブルーム」と「ファウンテン」の混合について多くのことが書かれている(例えば[9,10]参照)。混合の程度は多くの要因に依存するが、そのうちのいくつかは制御可能である。例えば、吐出速度、吐出口の位置や向きなど、制御可能な要素もある。Liu [11] は人工的な湧昇の文脈でプランジングと希釈の問題を考察しています。Liuのモデリングでは、 $0.95\text{m}^3/\text{s}$ の流量を様々な深さでモデル化したところ、初期の希釈度は、地表からの流出では47:1、550mの深さの放流では約10:1まで低下し、平衡水深は地表の放流では50m、深さ50mでは75mとなる。混合の割合は、波の影響により、表面近くでより大きくなります。前述の[8]の図から、これらの平衡水深に沈んだ希釈された栄養塩を含む海洋深層水は、低緯度地域の中緯度ではなく、低緯度では藻場にとどまることとなります。この程度に希釈されたDOWが有用な栄養塩濃度を提供するかどうかを評価するためには、栄養塩濃度を知る必要がある。生産性を高めるために必要な濃度と生産性を高めるために必要な濃度を知る必要がある。Gauthier[5]やMcKinley and Takahashi[12]によるいくつかのデータを表1に示す。表1にはGauthier[5]とMcKinley and Takahashi[12]のデータを、表2には、Liu[11]が予測したように、DOWが沈降帯に汲み上げられ、混合によって希釈される地表付近の栄養塩濃度の予測値である。表1と表2の比較は非常に限られたデータに基づいていますが希釈はDOWポンプの利点を十分に打ち消す可能性があることを示唆している。したがって、少なくとも概念実証の初期段階では、希釈を最小限に抑えるべきである。この問題を解決するために、Gauthier [5]は

栄養豊富な水を環礁のラグーンに送り込み、そこでは分散して希釈されないようにすることを提案している。外洋のように分散して希釈されることはありません。限られた量の栄養豊富な水であっても、すぐに測定可能な大きな効果を得ることができます。

栄養不足の浅い沿岸水域の近くに深層水が存在する場合、ポンプを使って生産性を向上させることができるかもしれません。DOWを浅い沿岸水に送り込むことで生産性を向上させることができるかもしれない。より密度の高いDOWは、やはり底面に沿って重力流を形成し、深みに戻っていく傾向がある。しかし、外洋のように垂直に落ちていくほど急速には失われない。自然に閉じ込められるような底質がない場合は大きな膜をフロートで水面下に吊り下げ、そこにDOWをポンプで送り込むことができる。しかし、これではコストが大幅に上昇してしまうため、ゴートイエの環礁案が初期の概念実証には最適な選択肢と思われる。

5. どのくらいの流量が必要で、どのくらいの深さから必要なのか？

有用な量の栄養分を供給するためには、かなりの深さから大きな流れが必要です。水深や流量の明確な最小値は存在しない。Matsudaら[13]は、10 MW の OTEC プラントを用いて、

50 m³/sを5～600mの深さから汲み上げることが提案した。彼らは、この量の海洋深層水は、年間330万ドルの魚類収入をもたらし、経済的に成り立つと見積もっている。これは妥当な出発点だと思います。

Gauthier[5]は、環礁のラグーンの大きさは数平方kmから数千数十メートルの深さに及びます。10平方キロメートル、深さは平均40メートルで、水の量は $4 \times 10^8 \text{m}^3$ 。ポンプで1日に $50 \text{m}^3/\text{s} = 4.32 \times 10^6 \text{m}^3$ で汲み上げると、完全に水を交換するには約100日かかります。ラグーンと海との間で多少の希釈はあるでしょうが、概念実証のためには $50 \text{m}^3/\text{s}$ の流量が妥当であることを示しています。非常に小さなラグーンを試験的に使用できる場合は、より低い流量で十分です。

100～300m程度の深さで栄養豊富な水が得られるとする著者もいるが、これはMatsudaら[13]で用いられたものよりもかなり低い。これにより揚水に必要なエネルギーを削減することができる。例えば、Hanson[14]は、硝酸塩とリン酸塩のプロットを示しています。硝酸塩とリン酸塩のプロットは、表層から着実に増加し、深海の最大濃度の約半分に達する。Tait and Dipper [8]は、深さ300m付近で深海の最大濃度の約半分に達すると述べています。

「この湧昇水は、おそらく水深100～200m以上では上昇しないが、カナリア海流、ベンゲラ海流、ペルー海流、カリフォルニア海流、西オーストラリア海流に栄養分を供給するのに十分な深さで、これらの地域はすべて多産地帯である。」

しかし、これらの自然システムは、ほとんど、あるいは全く希釈することなく、大量のDOWを持ち込む。

人工的な上昇流では、希釈後に必要な濃度を得るために、深さと濃度の間でトレードオフを行わなければならない。したがって、水深5～600mの深さが、試算の出発点としては妥当だと思われる。

7. 波力を利用した慣性ポンプ

実用的な人工湧昇システムの詳細な設計は乏しい。Liang [16]はRoelsら[18]に記載された1968年の湧昇プロジェクトを引用していますが水がどのように汲み上げられたかについての詳細はない。人工的な湧昇を実証するために設計された、実際に作動するポンプについての記述は2つしかない。人工的な湧昇を実証するために設計された実際のポンプの記述は、文献上ではLiu [11]とVershinsky et al.とVershinskyら[15]のもので、これらはどちらも小型のモデルであり、実際に必要とされるものよりも桁違いに小さい。このシステムがフルスケールで実用的かどうかを評価する必要があります。

1983年, Vershinsky[15]は,

**エレガントでシンプルな上昇流装置を実証した。
この装置は、上端にフロートを備えた垂直管からなり、逆流防止弁を備えている。**

この装置では、図1に模式的に示されているように、全体のアセンブリがうねりに合わせて上下に移動する。DOWの密度は表層の水よりも約0.2%大きいだけなので、その重力加速度は大幅に減少しチューブ内のDOWの慣性により、チューブが下降してもDOWは上に移動し続ける。

Vershinskyらの装置の

断面積は0.071平方メートル(直径0.3m)で、0.35mのうねりの中で30mの深さから4秒周期で10³リットル/sを汲み上げることができた。

※約860トン/日

Liu[11]は、Vershinskyらのモデルと同じ

原理で動作する直径0.1mの「スパー・ブイ」を用いて、周期4秒の3フィート(0.9m)のうねりの中で行った模型実験を紹介している。彼は、慣性ポンプの理想的な吐出量Qについて次のような式を与えている。

本研究プロジェクトの支援企業、個人、団体

Supporting companies, individuals, and organizations for this project

研究開発パートナー

芝浦工業大学、機械機能工学科「エネルギー・環境技術研究室」田中(耕) 教授
実験エリア提供

御宿岩和田漁業協同組合

技術相談支援

横尾義春氏、産業技術総合研究所イノベーションアドバイザー
エスコット及びスパイバー社(人工クモ系ベンチャー)技術顧問

NPO会員、賛助会員としての支援企業・団体・個人

賛助会員としての支援企業

日本コンテナ輸送(株)
(株)共同フレイターズ
シフトサービス(株)
吉田運送(株)
鈴与自動車運送株式会社
久和倉庫(株)
ヤマラク運輸(株)
青バラ運輸(有)
(株)丸山運送

正会員としての支援企業・個人(順不同)

(株)タニタ
(株)日本能率協会総合研究所
日本フレイトライナー(株)
シリウス・コンサルティング(株)
早川海陸輸送(株)
群馬ジカハイ運輸(株)
郡山トラックセンター事業協同組合
東京貿易運輸(株)
(株)ブランドール
(株)APT
永進運輸(株)
中部第一運輸(株)
吉田運送(株)
ヤマニ屋物流サービス(株)
大竹運送(株)
八潮運輸(株)
(株)辰巳商会
(株)ホーユーサービス

茨城県運送事業協同組合
佐野市役所
U-パレット(有現会社デジレ)
(株)EFインターナショナル
関東サービス(株)
北関東通商(株)
トレードシフトジャパン(株)
アトム・ロジスティクス(株)
能代運輸(株)
トライウォールジャパン(株)
白井エコセンター(株)
エコ・プランニング
(株)タクスト
(株)カーゴ・ライブジャパン
幸和運輸(株)
タツミトランスポート株式会社
オーオーシーエル ロジスティクス(ジャパン)(株)
神尾政志様(物流アドバイザー)
(株)義興業
濃飛倉庫運輸(株)
JR貨物鉄道(株)