

アカウミガメの繁殖・育成個体を用いた回遊経路調査 ～ 国際的な研究グループの中で日本の水族館が果たした役割

○栗田正徳（名古屋港水族館） George H. Balazs（Golden Honu Services of Oceania） Jeffrey J. Polovina（ハワイ大学・マリンバイオロジープログラム） Dana K. Briscoe（スタンフォード大学） 斉藤知己（高知大学） Jeffrey A. Seminoff（アメリカ海洋大気庁） Larry B. Crowder（スタンフォード大学）

名古屋港水族館では、初代館長の内田至博士がウミガメ類の研究者だったことから、1992年の開館以来アカウミガメ *Caretta caretta* の屋内での飼育下繁殖に取り組み、1995年以降、約1万個体の繁殖に成功した。これにより、飼育下繁殖個体を孵化直後、あるいは1年から数年育成した後、放流するなど絶滅危惧種の野生復帰に貢献してきた。また、その過程で、アカウミガメ成熟個体の内分泌学的研究、行動学研究等で成果を上げてきた。

2003年からは、アメリカ海洋大気庁ハワイ分室と名古屋港水族館の共同研究として、「アカウミガメ回遊経路解明調査」を開始した。ウミガメ類幼体の孵化後から数年間の生態はよくわかっておらず“mystery of the lost year”と言われるが、この共同研究では、日本の海岸で孵化したアカウミガメがどの海域を回遊し、成長していくかを調べるため、1歳半以上の個体に衛星送信機を取り付けて調査を行った。

この調査は2013年まで継続し、その結果は7報の論文となった。最近のものは2021年に報告した熱回廊仮説（Briscoe et al. 2021）に関する論文である。この仮説を証明するために、新たに2023年から5年計画で共同研究を行うこととなった。前回の調査から10年以上が経過し、名古屋港水族館は当初の主要メンバーの内田博士が引退していたり、共同研究者の所属や研究費の助成機関も変わったりしているが、本調査を実施するにあたり、水族館という機関として果たすことのできる大小の様々な役割が必要不可欠ということで、引き続き調査に加わることとなった。

これまでのアカウミガメの回遊経路の調査に関して名古屋港水族館は、放流個体や場所の提供だけでなく、安定した繁殖と健全な幼体の育成技術が評価されてきた。それに加え、公海上での放流の実施にあたって輸出相手国の無い特殊な CITES の許可申請、適切な放流場所に試験個体を輸送する船舶の手配、安全確実な放流の実施等の役割を担ってきた。

水族館には、研究機関には無い規模の飼育施設と生物の診療施設、そして生物の飼育、健康管理と治療に習熟した飼育係や獣医師等、他の機関には持ち得ない物的・人的資産がある。このような資産を研究に積極的に活用していくことも「研究の場」としての水族館の役割と考えている。また、水族館は大規模な集客施設であることから研究のアウトリーチの場としても有効であり、水族館がかかわった研究として紹介することにより、多くの来館者の興味を引き大きな普及効果が期待される。

東京大学大気海洋研究所 共同利用研究集会
第10回 水族館シンポジウム
「水族館とは？：日本の水族館を考える」

アカウミガメの繁殖・育成個体を用いた回遊経路調査 ～ 国際的な研究グループの中で日本の水族館が果たした役割

名古屋港水族館 栗田正徳



名古屋港水族館の展示コンセプト

南極への旅

地球を縦断する旅で出会う、
5つの海のさまざまな生命

現在の地球環境

35億年はるかなる旅

ふたたび海へもどった動物たち

過去からの進化の過程

名古屋港水族館 と 南極観測船「ふじ」



名古屋港水族館のウミガメ回遊水槽



ウミガメ回遊水槽：繁殖のための施設



アカウミガメ

Caretta caretta



ワシントン条約

IUCN レッドリスト

環境省 レッドリスト

文化庁 天然記念物

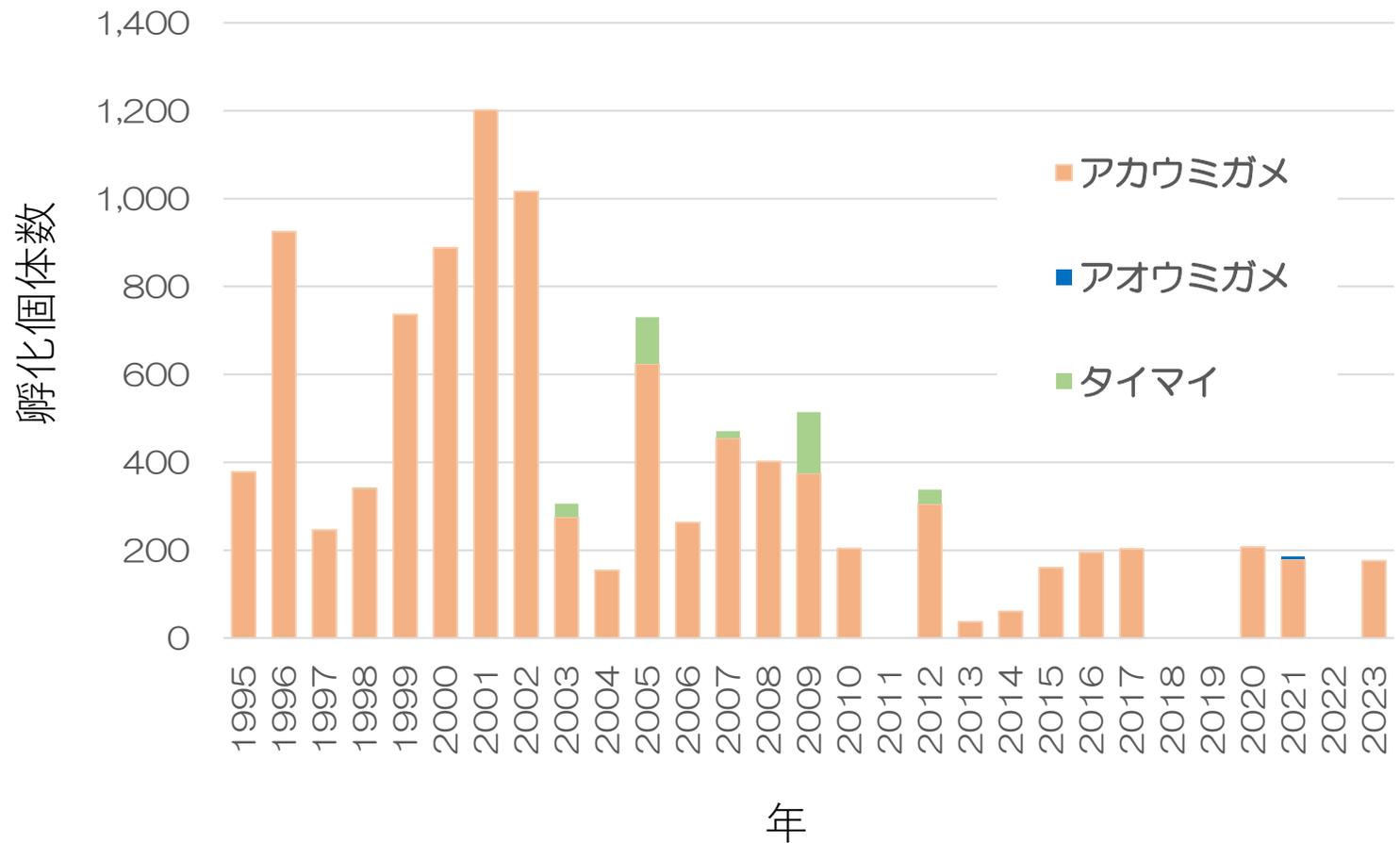
： 附属書Ⅰ

： VU(危急種)

： 絶滅危惧Ⅱ類

： 大浜海岸、御前崎

名古屋港水族館のウミガメ類繁殖実績



アカウミガメ 10,007個体
アオウミガメ 6個体
タイマイ 326個体

水族館内における研究

- 同一個体の継続的なモニタリング

血液性状・血中ホルモン濃度

周年行動

経時的変化

**基礎的な
データの集積**

- 環境の調整、均一化

温度、光、餌(質、量)

名古屋港水族館の飼育下のアカウミガメに関する論文

Sakaoka et al. (2006) Quantitative and continuous analyses of reproductive behaviors in captive loggerhead turtle (*Caretta caretta*) using supersensitive cameras. Proceedings of the 6th International Aquarium Congress. Monterey, CA, USA. 2004.

Sakaoka et al. (2007) Quantitative analysis of reproductive Behavior in captive loggerhead turtles (*Caretta caretta*). Herpetological Review.

Kakizoe et al. (2007) Successive changes of hematologic characteristics and plasma chemistry values of juvenile loggerhead turtles (*Caretta caretta*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine

Kakizoe et al. (2010) Cyclical changes of plasma sex steroids in captive breeding loggerhead turtles (*Caretta caretta*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine

Sakaoka et al. (2011) : Sperm utilization patterns and reproductive success in captive loggerhead turtles (*Caretta caretta*). Chelonian Conservation and Biology

北太平洋のアカウミガメの産卵場



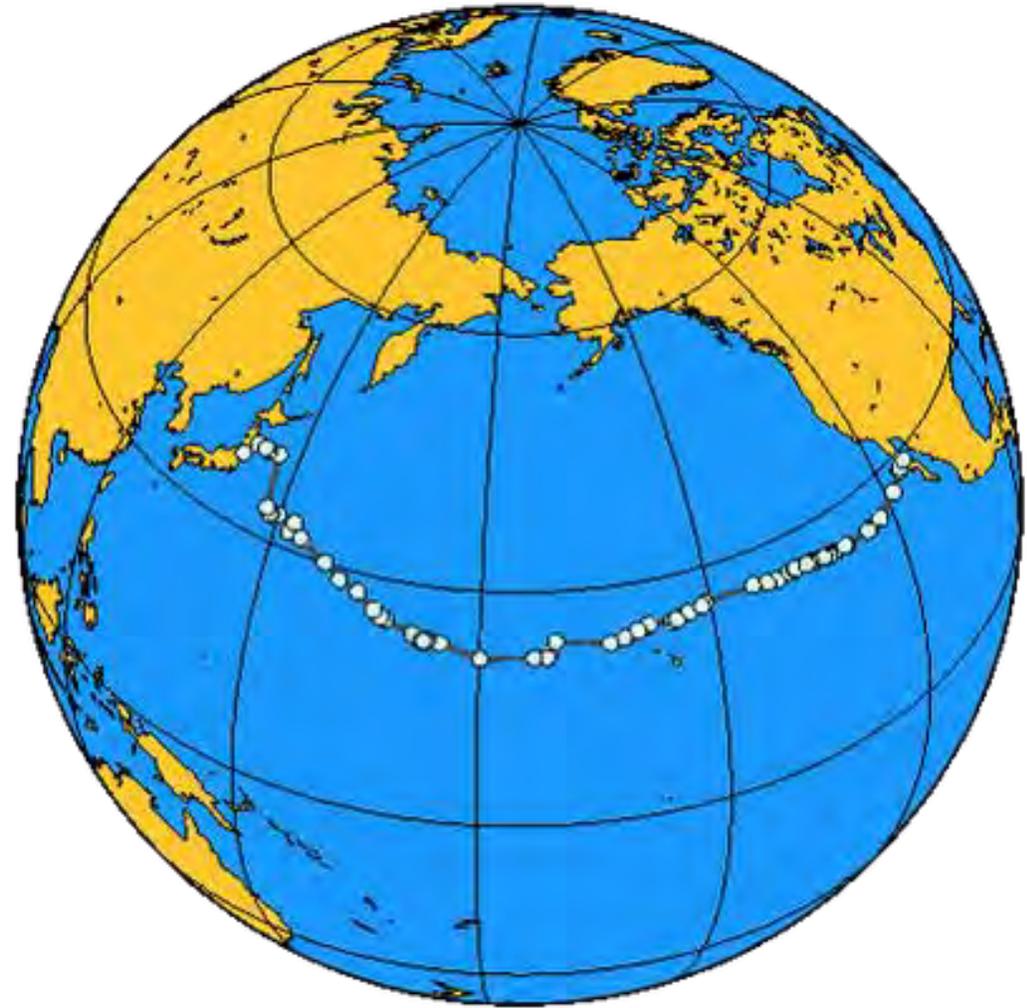
1987年
沖縄のアカウミガメの標識放流
海洋博記念水族館で放流したアカウミ
ガメが米国サンディエゴ沖で捕まった。



1995年
アカウミガメのミトコンドリアDNA分析
太平洋の南半球と北半球でハプロタイプが
分かれる

Bowen et al. (1995) Proc. Natl. Acad. Sci.

1997年
メキシコのアカウミガメの旅
メキシコで10年間飼育されてた
アカウミガメが約1年で仙台まで
移動した。

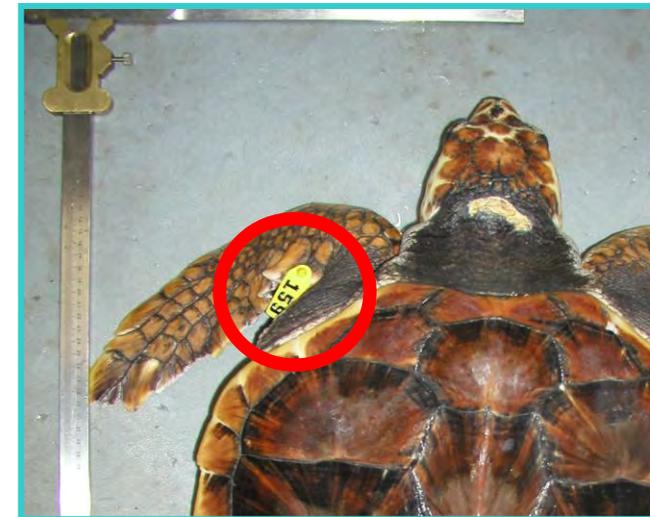
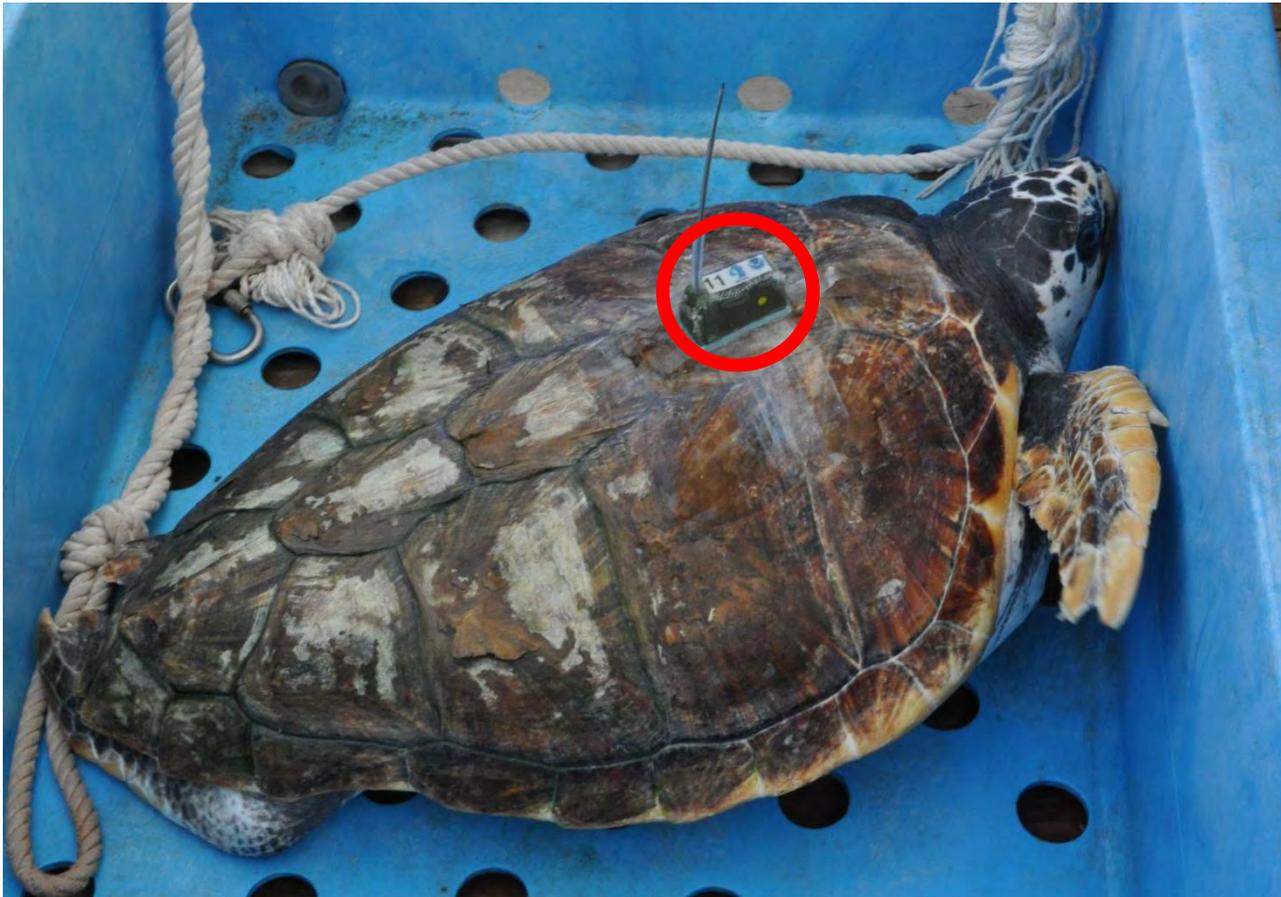


Adelita's amazing track from Baja California to Japan in 1997.
Orthographic projection, courtesy of Wallace J. Nichols,
showing Adelita's complete track

名古屋汲水族館とNOAAによる アカウミガメ回遊経路解明調査

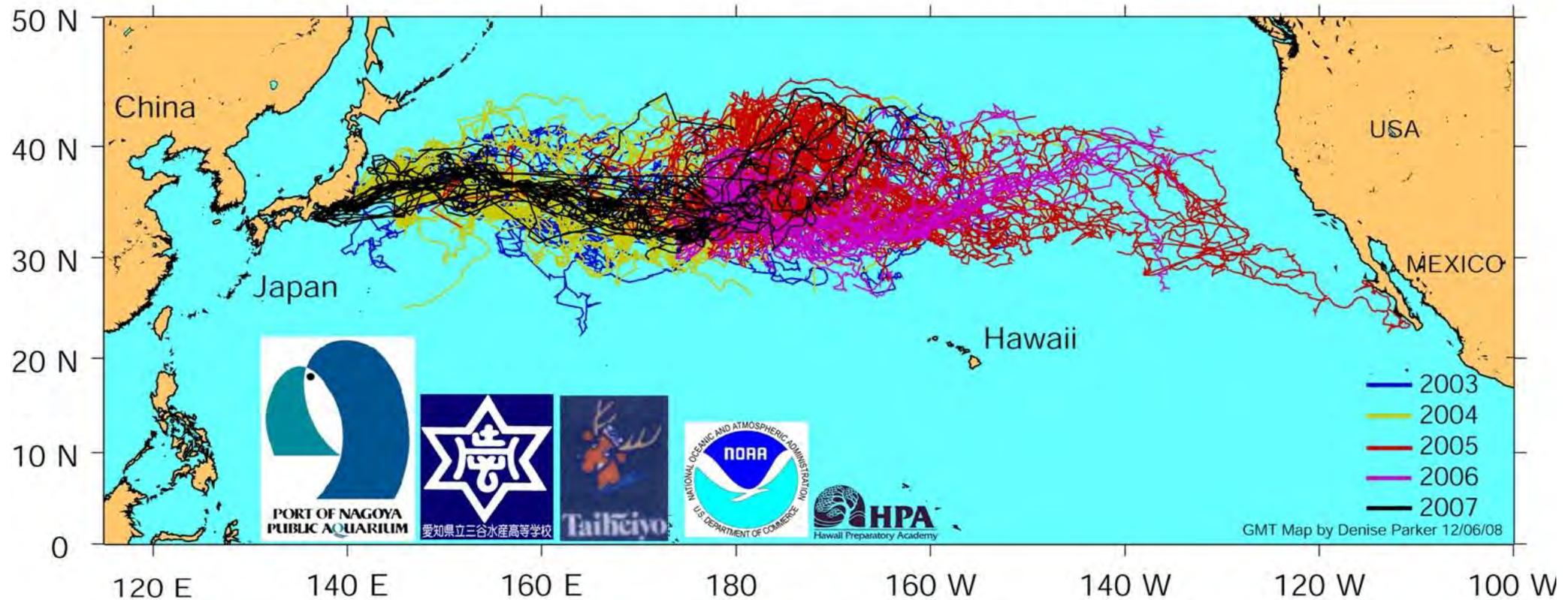
2003年～2013年

- 調査方法：
1. アルゴス送信機による追跡
 2. 標識による、再捕個体の調査



2003-2008年調査の全行跡（165個体）

2003-2008 Satellite tracking of pelagic loggerhead turtles



名古屋港水族館のアカウミガメ回遊経路に関する論文

Polovina et al. (2006) The Kuroshio Extension Bifurcation Region: A pelagic hotspot for juvenile loggerhead sea turtles. *Deep Sea Research II*.

Kobayashi et al. (2008) Pelagic habitat characterization of loggerhead sea turtles in the North Pacific. *JEMBE*.

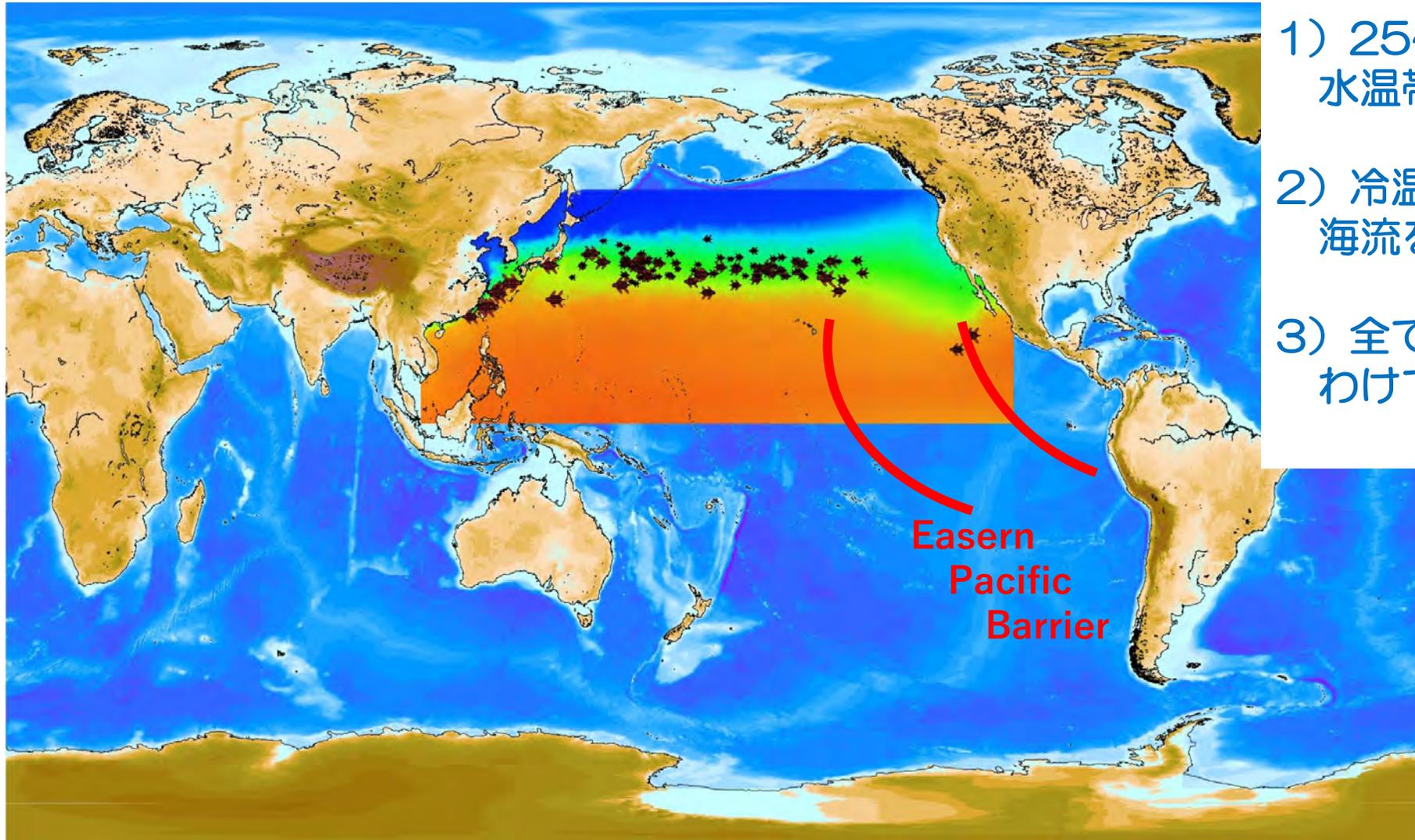
Saito et al. (2015) Tracking male loggerhead turtle migrations around Southwestern Japan using satellite telemetry. *CCB*

Briscoe et al. (2016) Active dispersal in loggerhead sea turtles during the 'lost years.' *The Royal Society*.

Briscoe et al. (2016) Multi-year tracking reveals extensive pelagic phase of juvenile loggerhead sea turtles in the North Pacific. *Movement Ecology* 4 (23)

Saito et al. (2018) Satellite tracking immature loggerhead turtles in temperate and subarctic ocean habitats around the Sea of Japan. *Micronesica*.

アカウミガメ回遊経路解明調査でわかったこと



- 1) 25~45N° ・ 15~25°Cの水温帯に滞留
- 2) 冷温水塊の渦の周りを移動。海流を逆行することも
- 3) 全て東太平洋側に移動するわけではない

名古屋港水族館のアカウミガメ回遊に関する論文

Polovina et al. (2006) The Kuroshio Extension Bifurcation Region: A pelagic hotspot for juvenile loggerhead sea turtles. *Deep Sea Research II*.

Kobayashi et al. (2008) Pelagic habitat characterization of loggerhead sea turtles in the North Pacific. *JEMBE*.

Saito et al. (2015) Tracking male loggerhead turtle migrations around Southwestern Japan using satellite telemetry. *CCB*

Briscoe et al. (2016) Active dispersal in loggerhead sea turtles during the 'lost years.' *The Royal Society*.

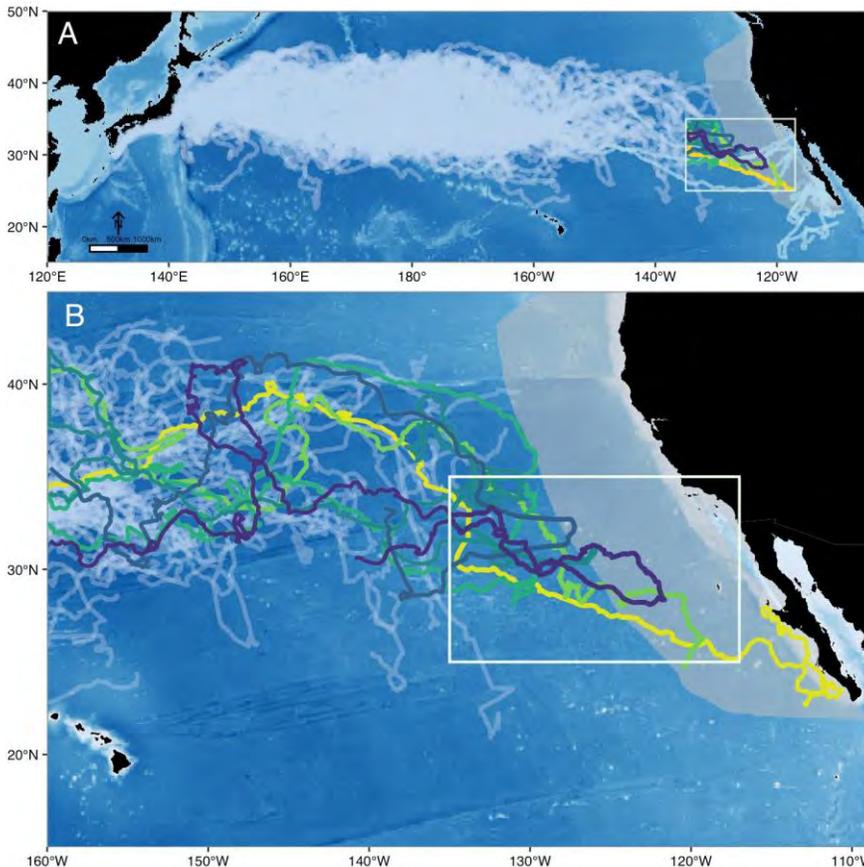
Briscoe et al. (2016) Multi-year tracking reveals extensive pelagic phase of juvenile loggerhead sea turtles in the North Pacific. *Movement Ecology* 4 (23)

Saito et al. (2018) Satellite tracking immature loggerhead turtles in temperate and subarctic ocean habitats around the Sea of Japan. *Micronesica*.

Briscoe et al. (2021) Dynamic Thermal Corridor May Connect Endangered Loggerhead Sea Turtles Across the Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*

アカウミガメ回遊経路解明調査から STRETCHへ

Sea Turtle Research Experiment on the Thermal Corridor Hypothesis



- これまでの調査で6頭のアカウミガメがEPBを超えた。
- 2016年（エルニーニョの年）にアメリカのサンディエゴ沖で数万匹のアカウミガメが見つかった。
- 彼らは沖合の餌を食べて育ったことが皮膚の分析で分かった。

- アカウミガメはどんなメカニズムで冷たい海を渡るのか？
- 6頭のアカウミガメの結果から仮説を立てた。

- 2023年から、4年間、毎年25匹のアカウミガメを中央北太平洋の東の収束帯から放流し衛星追跡する。
- 仮説に基づいた**実験的な調査**
- 4か国から参加

アカウミガメ回遊経路解明調査から STRETCHへ

Sea Turtle Research Experiment on
the Thermal Corridor Hypothesis

詳細は

I ポスター発表 P17で

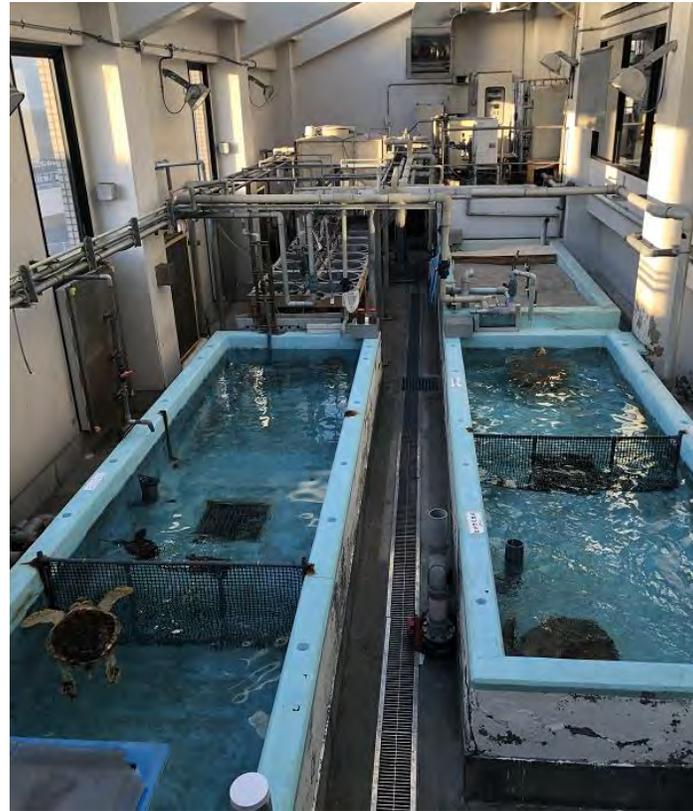
熱回廊仮説：北太平洋のアカウミガメに対する海洋温暖化の影響を理解するための海洋学的実験アプローチ

II ウェブサイト アカウミガメSTRETCH で検索

<https://www.loggerheadstretch.org/home-japanese.html>

カメ類繁殖研究施設

アカウミガメを飼育・育成する施設と人材



検査・医療体制

アカウミガメを飼育・育成する施設と人材



アカウミガメの放流目的に合わせた船舶の手配

日本近海

太平洋フェリー(株)
名古屋～苫小牧航路

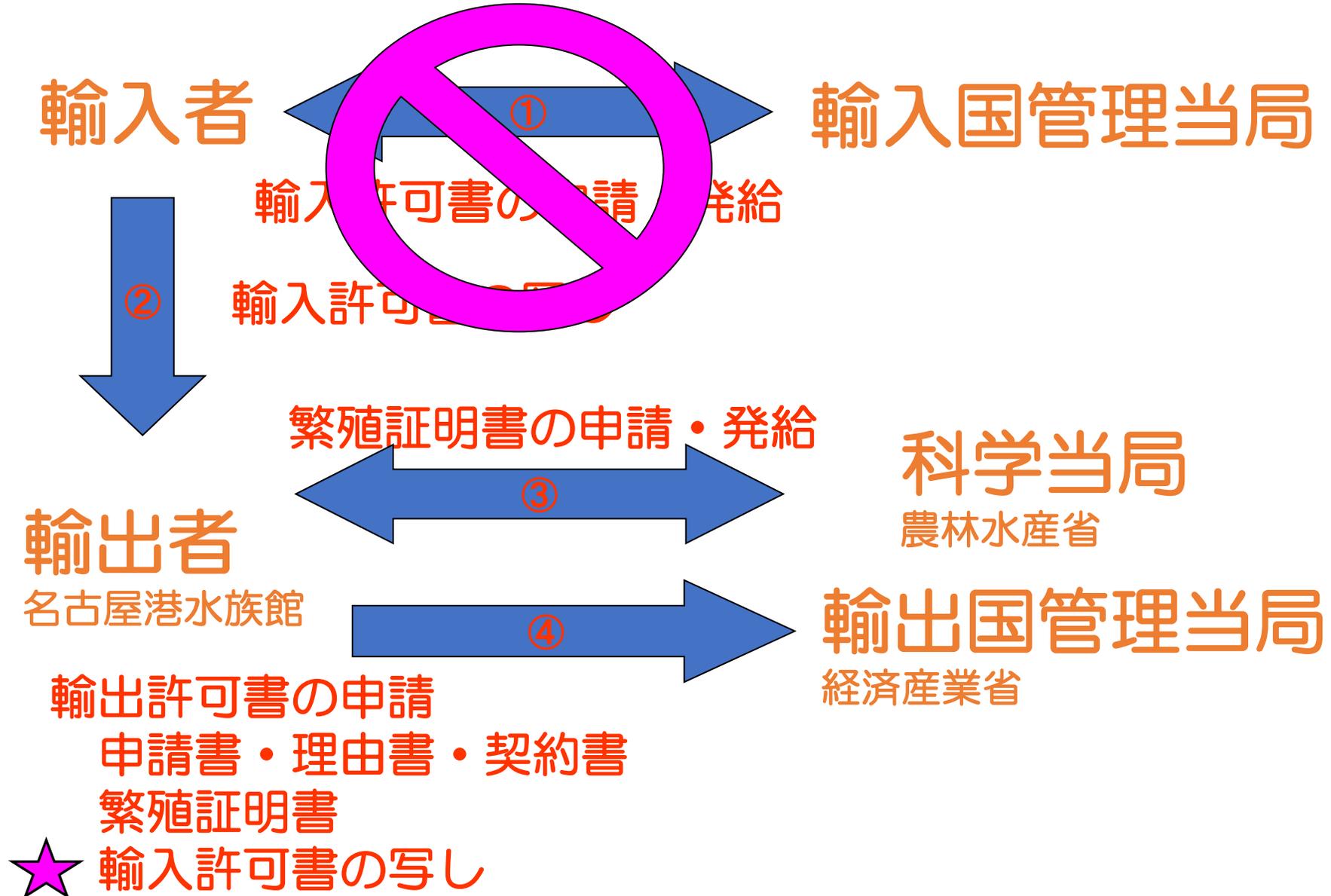


北太平洋東部
(株) 商船三井
自動車運搬船



北太平洋中部
愛知県立三谷水産高校・練習船 愛知丸

CITESの手続きに関する知識と経験



動物園・水族館の役割

**リクリエーション
教育・環境教育**

**種の保存・保全
調査・研究**

アウトリーチ活動

2023年7月10日、アカウミガメの子ガメ 25 頭を北太平洋に放流しました。下の地図で彼らの動きを追跡してください。日付と時刻は協定世界時で表示されます。私たちは子ガメに、アカウミガメの保全に責任ある地域、つまり日本、ハワイ、メキシコ、米国にちなんだ名前を付けました。

WILDLIFE COMPUTERS

アカウミガメと一緒に学ぼう

気候変動の中でのアカウミガメの一生の旅を明らかにするため、私たちのウェブサイトの資料をガイドとして使いながら、ウミガメを追跡するエキサイティングな探検に乗り出しましょう。これらの魅力的な資料や教育リソースを通じて、あらゆる年齢の人々が、このキーストーン種の保全に対する認識を深め、漁業との相互作用、汚染、気候変動によってウミガメが直面する危険を理解することができます。「探検家」のあなたが私たちのコンテンツを利用してくと、アカウミガメの回遊の謎が明らかになるだけでなく、海岸清掃の実践から海洋生物学における将来のキャリア形成に至るまで、ウミガメの保護活動に対する情熱を育むことができます。画像をクリックして旅を始めましょう!

謎を解く

STRETCH チームがアカウミガメを追跡しているのはなぜですか?

北米の海岸に到達するには暖かい海水域が必要かどうかを調べるためです。

暖かい海水域は北太平洋への「橋」のようなものでしょうか?

そして、もし海水が冷たければ、彼らは北太平洋を横断する長い旅をすることができなくなります。

暖かい海水域の「橋」がなければ、彼らは北太平洋中に居るのでしょうか?

カメ 追跡の物語

アカウミガメの物語

広く青い海には、アカウミガメと呼ばれる多く生き物が住んでいます。アカウミガメは広大な海を探検し、速く離れた場所まで泳いでいきます。しかし、アカウミガメがふ化した後にどこへ行くのかなど、科学者にも分かっていないことがいくつもありました。

WILDLIFE COMPUTERS

まとめ

- 名古屋港水族館では、開館以来、ウミガメ類の飼育下繁殖に取り組んできた。
- ウミガメ類は産卵数が多く、育成も比較的容易なため、回遊経路の調査に活用。
- 調査は、海外の研究者との共同研究となる場合が多い。
- 水族館は、生物を飼育するための施設・設備・人的資源を持ち、社会的な関係も多岐にわたる。これらの資源を研究に活用することができる。
- 来館者や水族館のウェブサイトの利用者などへの研究のアウトリーチが容易で、野生動物のに関する普及啓発にも役立つ。

熱回廊仮説：北太平洋のアカウミガメに対する海洋温暖化の 影響を理解するための海洋学的実験アプローチ

○栗田正徳（名古屋港水族館） Dana K. Briscoe（スタンフォード大学） Bianca S. Santos（スタンフォード大学） George H. Balazs（Golden Honu Services of Oceania） Jeffrey J. Polovina（ハワイ大学・マリン・バイオロジー・プログラム） Jeffrey A. Seminoff（アメリカ海洋大気庁） Alberto Abreu-Grobois（メキシコ国立自治大学） 森昌範（名古屋港水族館） Denise M. Parker（Golden Honu Services of Oceania） Marc R. Rice（Hawaii Preparatory Academy） 齊藤知己（高知大学） Calandra N. Turner Tomaszewicz（アメリカ海洋大気庁） 山口永晏（高知大学） Larry B. Crowder（スタンフォード大学）

北太平洋のアカウミガメ *Caretta caretta* の回遊は、全ての動物の回遊や渡りの中で最長の事例の一つである。日本の海岸で孵化した幼体は、数年以上北太平洋中部（CNP）で過ごし、その後メキシコのバハ・カリフォルニア沖の採餌場に現れることが知られるが、最近までそれらが北太平洋を横切ってバハ・カリフォルニアまで回遊するメカニズムを明確に説明することはできなかった。

私たちの研究グループは、北太平洋西部および中部で衛星送信機を取り付けて放流したアカウミガメの幼体 231 個体の 15 年間のデータを分析し、97%のカメが CNP に留まった一方で、3%にあたる 6 個体がある条件下でダーウィンの提唱した東太平洋障壁を超えて東に向かい、北米西海岸まで移動したという観察に基づき、熱回廊仮説（TCH; Briscoe et al. 2021）を提唱した。

TCH では、アカウミガメが CNP からメキシコのバハ・カルフォルニア沿岸に断続的に移動するメカニズムとして、大洋と沿岸の生息域をつなぐ「暖かい海水の道＝熱回廊」が時折現れ、CNP 収束帯の東端にいるアカウミガメが、その条件下で北米西海岸にアクセスできることを提唱する。

この仮説を検証するために、4 年間（2023-2026 年）にわたり北太平洋東部の洋上において毎年 25 個体のアカウミガメ幼体の衛星追跡を実施する準備を進め、2023 年 7 月に 1 回目の放流を行った。このような内容と規模の海洋学的実験アプローチは海洋生態系の上位捕食者であるアカウミガメでは実施されたことが無い。

本実験によりアカウミガメが気候変動に対してどのように反応し、生息域を変えるのかを解明できる可能性がある。また、得られた結果はアカウミガメ等の海域の大型希少野生動物の保全策を構築していくうえで大変重要な示唆をもたらさう。



SEA TURTLE RESEARCH EXPERIMENT ON THE THERMAL CORRIDOR HYPOTHESIS (STRETCH)

熱回廊仮説：北太平洋のアカウミガメに対する海洋温暖化の影響を理解するための海洋学的実験アプローチ

○栗田正徳 (名古屋港水族館) ・ Dana K. Briscoe (スタンフォード大学) ・ Bianca S. Santos (スタンフォード大学) ・ George H. Balazs (Golden Honu Services of Oceania) ・ Jeffrey J. Polovina (ハワイ大学) ・ Jeffrey A. Seminoff (NOAA) ・ Alberto Abreu-Grobois (メキシコ国立自治大学) ・ 森昌範 (名古屋港水族館) ・ Denise M. Parker (Golden Honu Services of Oceania) ・ Marc R. Rice (HPA) ・ 斉藤知己 (高知大学) ・ Calandra N. Turner Tomaszewicz (NOAA) ・ 山口永晏 (高知大学) ・ Larry B. Crowder (スタンフォード大学)

はじめに

北太平洋のアカウミガメ *Caretta caretta* の回遊は、全ての動物の回遊や渡りの中で最長の事例の一つである。日本の海岸で孵化した幼体は、数年以上北太平洋中部 (CNP) で過ごし、その後メキシコのバハ・カリフォルニア沖の採餌場に現れることが知られるが、最近までそれらが北太平洋を横切ってバハ・カリフォルニアまで回遊するメカニズムを明確に説明することはできなかった。

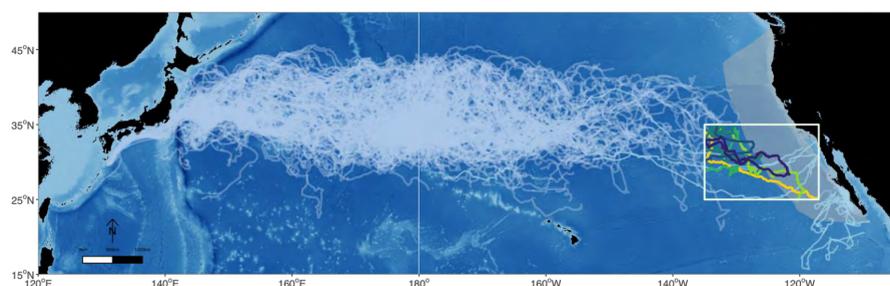


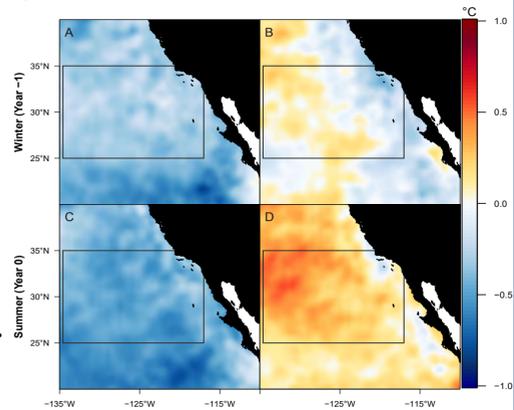
Fig. 1. 北太平洋におけるアカウミガメ幼体の衛星追跡 (1997 - 2013年, n=231) 北アメリカに向かって東へ回遊した6個体の動きを色で示した。

熱回廊仮説

私たちの研究グループは、北太平洋西部および中部で衛星送信機を取り付けて放流したアカウミガメの幼体231個体の15年間のデータを分析した。その結果97%のカメがCNPに留まった一方で、3%にあたる6個体がある条件下でダーウィンの提唱した東太平洋障壁を超えて東に向かい、北米西海岸まで移動した (Fig. 1) という観察に基づき、熱回廊仮説 (TCH; Briscoe et al. 2021) を提唱した。

TCHでは、アカウミガメがCNPからメキシコのバハ・カルフォルニア沿岸に断続的に移動するメカニズムとして、大洋と沿岸の生息域をつなぐ「暖かい海水の道＝熱回廊」が時折現れ、CNP 収束帯の東端にいるアカウミガメが、その条件下で北米西海岸にアクセスできることを提唱する。

Fig. 2. 海面水温の月間平均の6か月分を合成。Winter:10-3月、Summer:4-9月として、冷たい年 (A, C) と暖かい年 (B, D) の平均海面温度との差を示す。熱回廊の形成が予想される場所を四角で囲んだ。海面温度に応じて「熱回廊」が断続的に形成され、それによってアカウミガメが東太平洋障壁を越えて沿岸の採餌場へ移動できる可能性がある (Fig. 2D)。熱回廊はSummerだけ存在していたわけではない。前のWinterから平年よりも高い表面海水温度を示している (Fig. 2B)。



海洋学的実験アプローチ

・この仮説を検証するために4年間 (2023-2026年) にわたり北太平洋東部の洋上において毎年25個体のアカウミガメ幼体の衛星追跡を実施する。

7月10日、自動車運搬船“Galaxy Ace”の日本からパナマ運河に向けての航海途中にCNP東端付近で1回目の放流を行った (Fig. 3)。

・このような内容と規模の海洋学的実験アプローチは海洋生態系の上位捕食者であるアカウミガメでは実施されることが無い。

・本実験によりアカウミガメが気候変動に対してどのように反応し、生息域を変えるのかを解明できる可能性がある。今回の実験では少なくとも冷たい年と暖かい年の両方で実施する必要がある。

・得られた結果はアカウミガメ等の海域の大型希少野生動物の保全策を構築していくうえで大変重要な示唆をもたらさう。



Fig. 3, (A). 1回目の放流。放流地点：39°18.9N、146°04.0W。自動車運搬船のギャングウェイから養殖かごを海面まで降ろし放流した。(B). (株)商船三井のGalaxy Ace。

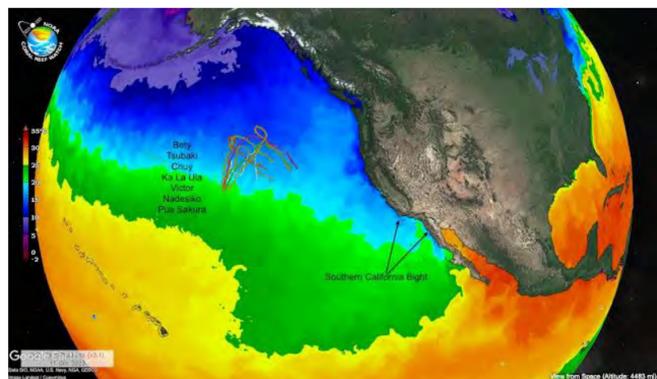


Fig. 4. 10月12日現在、25個体中7個体のアカウミガメが東に向かって移動している。理論的には、海面水温が十分に暖くなる限り、彼らは南東に移動し続ける可能性がある。その場合、餌資源の豊かな*Southern California Bightに到達し、バハ・カルフォルニアに向けて南下できる可能性がある。今後数か月間7頭の動きに注目し、彼らが南東に移動し続けるかどうかを確認できることを期待している。

*Southern California Bight : 太平洋亜寒帯、太平洋赤道、北太平洋中央の水塊が交わる海域として知られている。生物量が多く、多様性にも富む。

引用： Figs. 1,2. Briscoe et al. 2021 *Frontiers in Marine Science*.

Fig. 4. [LatLatest Updates on the STRETCH Project \(stretchupdates.blogspot.com\)](https://stretchupdates.blogspot.com) est Updates on the [STRETCH Project \(stretchupdates.blogspot.com\)](https://stretchupdates.blogspot.com)

謝辞： 私たちは、ゴードン & ベティ・ムーア財団とナショナル ジオグラフィックの支援に感謝します。ウミガメを目的の場所まで輸送していただいた株式会社商船三井と放流作業をお手伝いいただいたGalaxy Aceのクルーの皆様に感謝します。

