

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 2 4 年 5 月 1 7 日現在

機関番号：3 2 6 4 4

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：2 0 5 8 0 2 1 2

研究課題名（和文）内視鏡を用いた小型鯨類における胃内消化速度の研究

研究課題名（英文）Food digestion in forestomach of dolphin: Observation of process and speed using endoscope.

研究代表者

大泉 宏 (OHIZUMI HIROSHI)

東海大学・海洋学部・准教授

研究者番号：3 0 3 6 6 0 0 9

研究成果の概要（和文）：

飼育下のミナミハンドウイルカ(*Tursiops aduncus*)1頭に給餌し、その後の食道胃内における消化の進行を内視鏡を用いて観察した。観察では餌の種と尾数または量を変化させて、餌の消化段階と時間経過の関係、および一定量の餌が消化されて空胃に至るまでの時間を明らかにした。また、イルカにイカの顎板を給餌し、食道胃に不消化物として滞留する顎板が吐出されるまでの時間を調べた。その結果、100g から 200g 程度の餌一尾は約 1 時間半から 2 時間程度で消化されること、一回の満腹量に相当する餌は 12 時間で完全に胃内の消化が完了すること、イカの顎板の大部分は 24 時間で排出されることが明らかになった。さらに餌の一部を人工消化液を用いて試験管内で消化させ、餌種による消化の進行速度の違いの検証と、イルカの胃から抽出したペプシンの活性条件を pH と温度について明らかにした。これらの結果は、イルカの食道胃における餌の消化速度を明らかにしたものである。これは、野生のイルカ類から得られる胃内容物の分析を行う際に、単位時間当たりの餌摂取量を推定する手がかりとなると期待され、自然条件下におけるイルカの餌消費量やエネルギー要求量を明らかにする上で有用と考えられる。

研究成果の概要（英文）：

Digestion process in the forestomach of a captive Indo-Pacific bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*) was observed using endoscope after feeding. Relationship between digestion stages of one prey item and elapsed time was investigated on several prey species. Required digestion time to empty forestomach was observed for some amounts of food. Elapsed time for vomit of undigested squid beaks was also estimated after feeding of an amount of squid beaks. These observations revealed that a prey item of 100g to 200g could be digested within 1.5 to 2 hours after feeding, an amount of food with which the animal is sated could be emptied from forestomach after 12 hours, and most of undigested squid beaks vomited within 24 hours. Furthermore, a part of prey of was digested in artificially conditioned digestive solution to observe difference of digestion speed among prey species. Pepsin extracted from dolphin stomach was tested for its active condition on pH and temperature. These observations and experiments clarified digestion speed in the forestomach of dolphin, and it is expected to be useful to estimate required energy and food amount per unit of time for wild dolphin with analysis of stomach contents.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：生理

1. 研究開始当初の背景

鯨類などの海棲哺乳類が消費する餌生物とその量に関する興味が近年増大している。例えば、鯨類は海洋生態系でどのようなニッチを占めているのか、鯨類が占めるニッチはどれだけ重要なのか、鯨類は有用魚種資源をどれだけ消費しているのか、といった疑問がある。これに対して複数の国際機関が特に有用魚種をめぐる海棲哺乳類と漁業の競合を念頭に、海棲哺乳類が消費する餌の量について定量的評価を試みたか、研究の必要性を認識している。IWCでは鯨類による餌資源の消費量について活発な議論が展開され、日本政府による鯨類捕獲調査では鯨類が海洋生態系に与える影響が研究の主眼となった。PICESではワーキンググループが組織され、2000年に海棲哺乳類と海鳥類が北太平洋で消費する餌の定量的評価が報告された。2012年からはその改訂作業が始まる予定である。FAOでは水産委員会で鯨類と漁業の競合について研究を進めることが2001年3月に合意され、2003年から「小アンチル諸島外洋生態系プロジェクト」に対して資金拠出を行っている。本研究担当者は外部専門家としてこのプロジェクトに参加し、鯨類の食性分析について助言を行った。

食性の定性的特性については本研究担当者によるこれまでの研究で多くの成果が得られてきている。例えば、日本周辺に分布するハクジラ類14種について餌生物を種レベルで特定し、そのうち10種の鯨については何らかの形で結果を公表した。その結果、同種の鯨でも食性には地理的変異が大きく、また餌資源変動に伴い餌種だけでなく採餌時刻や場所等行動面でも影響があること、食性の変異には餌の地理的変異のみならず競争者とのニッチ分割の結果もあるらしいことなどが明らかとなった。

しかし、餌消費の定量評価は難しい。生態系における鯨類の生態的地位の重要性の評価方法は限定されており、特に野生の個体におけるエネルギー収入が評価困難で、エネルギー収支の視点に立った研究が進まなかった。よって、個体の餌消費率に関して過去に行われてきた方法には欠点がある。飼育個体の日間給餌量を記録する方法では飼育個体は過食

の傾向が強く、過大評価になりやすい。体重から標準代謝率を推定し、それを元にエネルギー要求量を推定する方法では鯨類における代謝率研究の事例が少なすぎ、信頼性を十分に評価できない。特に標準代謝率と全エネルギー要求量の量的関係が不明である。また、実験により得られる情報が野生の個体のエネルギー収入の情報となるわけではない。胃内容物分析から餌を計量、または復元重量を推定する方法では、胃内容物には時間的にどれだけの採餌を反映しているのかを示す時間的尺度がなく、時間当たりのエネルギーまたは餌要求量を知るとはかなり困難である。

このようなことから、餌消費量に関する研究は国内でも海外でも行われているが、どれも検証する手段に欠けており、信頼性は十分ではない。欠点を補完し、これまでの知見を別の視点から検証するための新しい手段が必要である。

仮に消化時間がわかれば胃内容物分析に時間的尺度を与えられ、定量的分析への道が開けると期待される。例えば、胃内容物量と消化段階から日間採餌回数や残存胃内容物が何時間分の採餌を反映しているかなどを明らかにでき、餌消費率が推定可能になる。日本では漁獲により鯨類が年間約2万頭捕獲されており、胃内容物分析による餌消費推定の技術的問題がクリアされれば、野生個体による餌消費量推定ができる可能性が高い。

2. 研究の目的

生体の小型歯鯨と実際の餌を用いた実験を行い、消化状況を内視鏡で視覚的に把握する。餌種別の消化時間を明らかにすることで胃内容分析時に出現した餌の状況を見て何時間前に採餌したか推定可能になる。また、消化段階から採餌時刻や、一日に何回採餌を行っているかの推定も可能になる。一定の餌量が消化されて空胃になるまでの時間を測定することで、1日の最大可能採餌量を明らかにする。さらに消化に抵抗的な硬組織の胃内残留時間を明らかにし、胃内容物分析時に出現する残留物が何日分の採餌に相当するのかを明らかにする根拠を築く。これらの情報から、野生個体の餌消費量や過去の研究に対する独立し

た検証手段の基礎を確立することを目標とする。

3. 研究の方法

実験は主に以下の5項目に分けて行った。

1. 単一の餌が消化される速度の測定
2. 一定餌量から空胃に至るまでの時間の測定
3. イカの顎板が食道胃から排出されるまでの時間の測定
4. 人工消化液を用いた餌の消化速度の測定
5. イルカ由来ペプシンの酵素活性

項目1から3は沖縄美ら海水族館にて行った。実験にはミナミハンドウイルカ1頭を用い、あらかじめ内視鏡で胃内を検鏡する訓練を十分施した。

単一の餌の消化速度についてはイルカに餌一尾を給餌してから一定時間後に胃内視鏡を挿入し、食道胃内容物の観察を行った。餌にはアヤトビウオ（体長約18cm、重量約110g）またはマサバ（体長約23cm、重量約190g）を用いた。

一定の餌量から空胃に至るまでの時間の測定にはアヤトビウオを用い、1.25kg、2.5kg、5kgを給餌した場合の空胃に至るまでの消化時間を内視鏡で観察した。

イカの顎板が食道胃から排出されるまでの時間の測定ではスルメイカの口球を30個詰めたスルメイカ外套膜を実験用餌としてイルカに給餌した。その後約120時間まで断続的に飼育プールの底に潜って吐出された顎板を回収した。全数が回収されない場合には96時間後以降に内視鏡を食道胃に挿入し、顎板が食道胃に残存しているか確認した。

人工消化液を用いた餌の消化速度の測定では、コントロール下試験管内での消化段階の進行を調べた。実験にはHCl、ペプシン、Na₂CO（緩衝材）から成る人工消化液を36～38℃に温め、pHは1.5から2.0の間に保った。実験にはトビウオとサバのヒレを用い、ヒレの重量を一定時間毎に測定した。

イルカ由来ペプシンの酵素活性実験には、和歌山県太地町で捕殺されたハンドウイルカの主胃から抽出したペプシン様酵素の活性条件をpHと温度について調べた。

4. 研究成果

単一のアヤトビウオは給餌後30分で表皮が消化され、60～90分で鱗や筋肉が消化、90～120分で骨が消化された。ロジスティック回帰により分析した結果、50%の確率で肉質部が完全に消化される時間の推定値は83分であった（図1）。

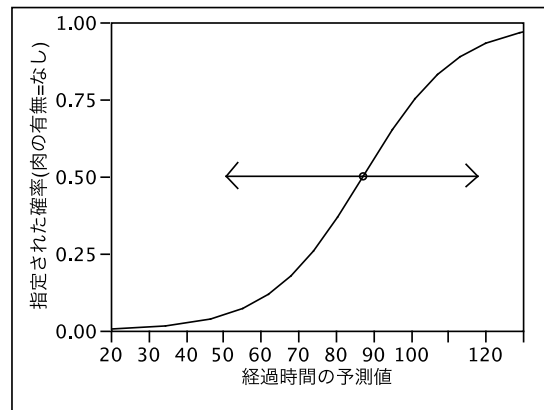


図1. トビウオの肉質部が消化されるまでにかかる時間のロジスティック回帰による推定値と95%信頼区間。



図2. 5kgのトビウオを給餌し、8時間後の食道胃内。肉質部の残った少数の餌と大部分が骨となった餌が混在している。

一方、マサバでは、給餌30分後には表皮が消化され、60分後には肉質部が消化されて形が崩れ、90分後には少量の肉質部と骨が残り、120分後には骨片を残すのみか空胃であった。肉質部が50%の確率で消失するまでにかかる時間はロジスティック回帰によって平均92分と推定された。アヤトビウオとマサバでは、消化段階の途中では若干の時間差が見られたが、最終的な完全消化までの時間は大きな差は無かった。

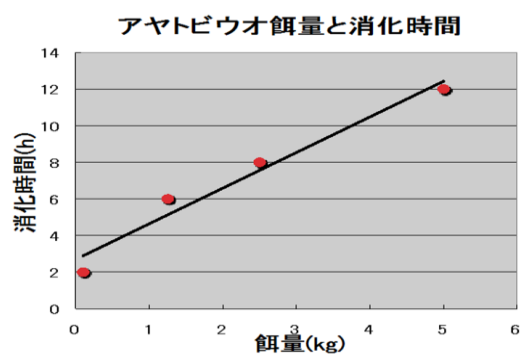


図3. 餌量と食道胃が空胃になるまでにかかる時間の関係。100gの餌のデータは単一の魚を消化させた場合のデータ。

一定の餌量から空胃に至るまでの時間は、餌量が 1.25kg では 6 時間後、2.5kg では 8 時間後、5kg では 12 時間後の観察で空胃となることが分かった (図 2、3)。

顎板の排出時間を測定する実験では、大部分の顎板は給餌後約 24 時間で排出され、72 時間後にはほぼ全ての顎板が排出された (図 4)。顎板には上顎板と下顎板があるが、下顎板の方がやや早く排出される傾向にあった。平均の排出時間は約 33 時間であった。おおよそ胃内容物に含まれる顎板は一日分の採餌を反映していると考えられる。

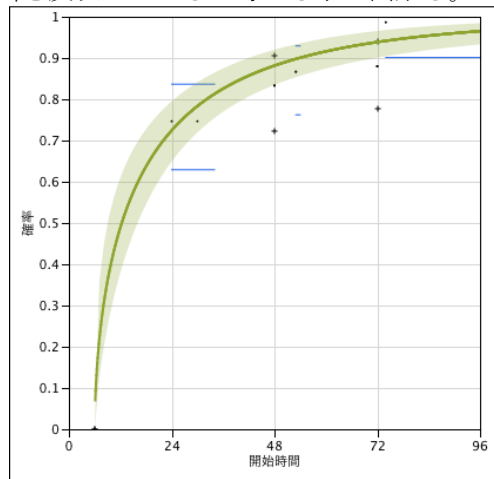


図 4. 下顎板が食道胃から排出されるまでにかかった時間による排出確率の分析結果。実線による曲線は閾値 Weibull モデルによる回帰結果と 95% 信頼区間。点と横線は Kaplan-Meier 法による区間推定値。

人工消化液による消化実験では、両種ともヒレの重量は時間経過とともに減少したが、ヒレ残存率(ヒレ重量/元の重量×100)を比較すると、同じ経過時間でマサバの方が 20% 以上小さく、比較的消化されやすいことが分かった。単一の餌の消化実験ではトビウオに比べておよそ倍のサイズがあるマサバがトビウオと余り変わらない時間で消化されることが示されたが、消化進行状態を表す目安の第一段階であるヒレの消化に関して、マサバの方が速く消化されることを裏付けることができたと考えられる。

酵素活性試験では、pH については 2 から 2.5 で最大活性が得られ、温度は 50℃から 60℃で最大活性が得られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

① Ohizumi, H., Koide, M., Kusakabe, H., Uehara, M., Miyazaki, M., Ueda, K., Yanagisawa, M., Nakaosne, R., Suzuki, H.

Digestion process and evacuation of diet in forestomach of Indo-Pacific bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*). 19th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Nov. 29, Dec. 1, 2011. Tampa City, USA.

② 小出麻紀子、上原美和子、宮崎真菜、植田啓一、柳沢牧夫、中曽根亮、日下部紘子、大泉宏。ミナミハンドウイルカの食道胃における消化時間と餌量の関係。平成 22 年度日本水産学会秋季大会。2010 年 9 月 24 日。京都大学。

③ 小出麻紀子、日下部紘子、上原美和子、宮崎真菜、植田啓一、柳沢牧夫、中曽根亮、大泉宏。ミナミハンドウイルカの食道胃における餌生物の消化過程。平成 21 年度日本水産学会春季大会。2009 年 3 月 28 日。東京海洋大学。

④ Koide, M., Uehara, M., Miyazaki, M., Ueda, K., Yanagisawa, M., Nakaosne, R., Kusakabe, H., Ohizumi, H. Digestion process of prey in the forestomach of Indo-Pacific bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*). 18th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Oct. 13, 15, 2009. Quebec City, Canada.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大泉 宏 (OHIZUMI HIROSHI)
東海大学・海洋学部・准教授
研究者番号：30366009