

## 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 25 年 5 月 23 日現在

機関番号：62611

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21681002

研究課題名（和文）高分解能行動データに基づく北極圏高次捕食動物の環境応答解明

研究課題名（英文）Responses to environmental changes in the Arctic top predators based on fine-scale behavioral data

## 研究代表者

渡辺 佑基（WATANABE YUUKI）

国立極地研究所・研究教育系・助教

研究者番号：60531043

研究成果の概要（和文）：北極海の生態系の頂点に立つニシオンデンザメとホッキョクグマという二種の捕食動物から詳細な行動データを得ることができた。ニシオンデンザメは遊泳速度や尾びれの動きがとても遅く、体の大きさの違いを考慮して比較すると、今まで調べられた魚類の中で最低レベルであることがわかった。北極海の冷たい水温により、本種の遊泳能力は大きく制限されていることが示唆された。ホッキョクグマは少なくとも 4 月の間は明確な日周性をもたず、一日の約半分の時間を活動的に動き回って過ごし、残りの半分の時間を休んで過ごすことがわかった。

研究成果の概要（英文）：Fine-scale behavioral data were recorded for the Greenland shark and the polar bear, the top predators in the Arctic ecosystems. Greenland sharks showed the slowest swim speed and tail-beat frequency across fishes, when the effect of body size was accounted for. This result indicates that the swimming performance of this species is limited by cold water in the Arctic Ocean. Polar bears were active for about the half of their time, without showing clear diel activity patterns, in April.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2010 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：北極・捕食動物

## 1. 研究開始当初の背景

ニシオンデンザメとホッキョクグマは北極圏の食物網の頂点に立つ二大捕食動物であり、生態系においてとりわけ大きな役割を果たしていると考えられる。それにもかかわらず、この二種の行動や生態を詳細に調べた研究は過去にあまり例がない。

また北極圏では、気温、水温、海氷密度などの物理環境がここ数十年で急激に変化したことが知られている。こうした環境変動が高次捕食動物にどのような影響を与えているのかを明らかにするためにも、彼らの自然状態での行動パターンを詳細に調べる必要がある。

## 2. 研究の目的

ニシオンデンザメとホッキョクグマという北極圏の二大捕食動物に行動記録計を取り付け、秒スケールの詳細な行動データを所得する。そしてそれを分析することによって、彼らの環境応答を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

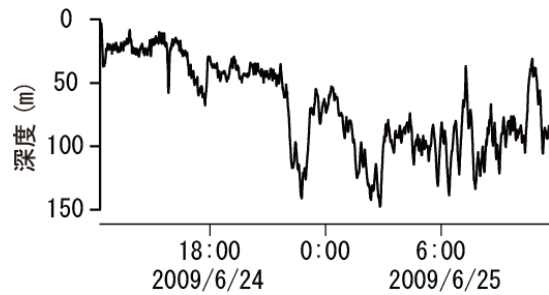
ノルウェーのスパールバル諸島において、ノルウェー極地研究所と共同でフィールド調査を実施した。調査には同研究所の調査船「Lance」を使用した。

ニシオンデンザメについては、アザラシの脂肪をエサにした延縄を仕掛け、一日待ってから引き上げた。針にかかったニシオンデンザメのうち、生きのいい個体を実験に使った。小型ボートの横にサメを横付けし、体長の測定や雌雄の確認などの基本項目を済ませたのち、第一背びれの前の部分に浅く小さな穴を開け、記録計を取り付けた。記録計にはタイマーをつなげ、24時間後にサメの体から切り離されて浮かび上がってくるようにした。浮かび上がってきた記録計はVHF電波を頼りに探し出し、回収した。このようにして6個体のサメから行動データを得ることができた。

ホッキョクグマについては調査船から発着するヘリコプターによる目視探索を実施した。クマを見つけた場合にはそのまま高度を下げて近づき、ドアを開けて機内から麻醉銃で撃った。麻醉が効くのを待ってから氷上に着陸し、体長、体重の測定や採血などの基本項目を済ませたのち、加速度記録計を取り付けた首輪を装着した。合わせて4個体のクマに加速度記録計付きの首輪を装着することができた。2013年5月現在、そのうちの二個体がノルウェー極地研究所の研究チームによって再捕獲され、記録計が回収された。

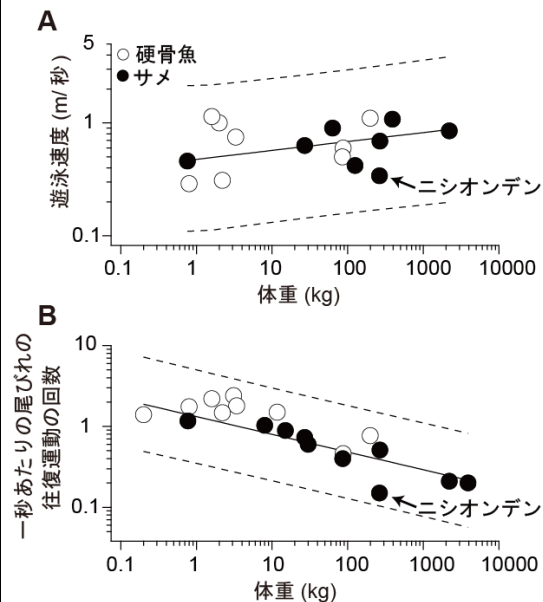
## 4. 研究成果

ニシオンデンザメから得られた深度データを解析すると、いずれの個体も200m以浅の幅広い深度帯を上下移動を繰り返しながら泳いでいた。これは3次元空間である海中において効率よくエサを見つけるための探索方法だと考えられた。



(図1) ニシオンデンザメの遊泳深度の変化

深度と同時に得られた遊泳速度と加速度のデータを解析すると、ニシオンデンザメは動きがとても緩慢であることがわかった。遊泳速度は平均で0.34 m/秒、尾ビレの振りは平均で毎秒0.15回という遅さであった。体の大きさの影響を考慮してこれらの値を他の魚類と比較すると、今までに調べられたどんな魚類よりも遅いことがわかった。



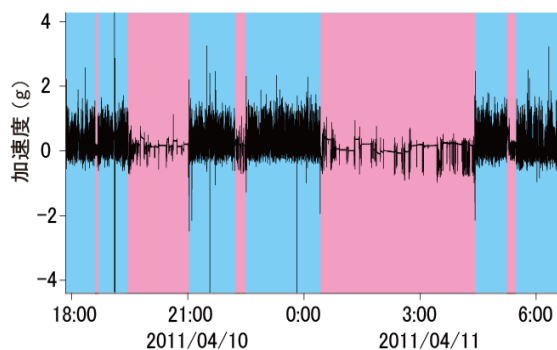
(図2) いろいろな魚類における (A) 遊泳速度と体重との関係、(B) 一秒あたりの尾びれの往復運動の回数と体重との関係。○は硬骨魚を、●はサメをそれぞれ表す。

一般に、動物の運動を支える筋肉の活性は温度が下がるほど低下する。したがってニシオンデンザメの緩慢な動きは、北極海の冷たい水温に起因するものと考えられた。本研究により、ニシオンデンザメのような変温動物においては、北極海の低水温の影響が直接行動に表れることを示すことができた。

ニシオンデンザメは北極海のアザラシを捕食することが知られている。本研究においても延縄で捕られたサメの一部の胃の中からゼニガタアザラシの幼獣が見つかった。ア

ザラシは恒温動物であり、冷たい水の中でも高い体温（したがって高い筋肉の活性）を維持するため、ニシオンデンザメよりもずっと速く泳ぐことができる。したがってニシオンデンザメがどのようにしてアザラシを捕食しているのかという謎が残った。北極海のアザラシはホッキョクグマを避けるために、海面に浮かびながら寝ることがある。もしかしたらニシオンデンザメはそのようなアザラシを狙っているのかもしれない。

ホッキョクグマから得られた加速度のデータを分析すると、彼らは一日の約半分を活動的に動き回って過ごし、残りの半分を休んで過ごすことがわかった。調査を実施した4月の中旬は夜が一日のうち5時間ほどしかない。その短い夜の間もクマは活動したり休んだりしており、少なくともこの時期には日周リズムに合わせた明確な行動変化は見られないことがわかった。しかしまだデータが二個体分と少ないため、強く結論づけることができない。記録計を取り付けた残りの二個体も近いうちに再捕獲され、データが回収されることを望んでいる。



(図3) 加速度データから読み取ったホッキョクグマの活動パターン。動き回っていた時間を水色で、休んでいた時間を桃色でそれぞれ表す。

##### 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)

[雑誌論文] (計12件)

1. Watanabe YY, Takahashi A. (2013) Linking animal-borne video to accelerometers reveals prey capture variability. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110: 2199-2204 (査読あり)  
DOI: 10.1073/pnas.1216244110
2. Watanabe YY, Reyier EA, Lowers RH, Imhoff J, Papastamatiou YP (2013)

- Behavior of American alligators monitored by multi-sensor data loggers. *Aquat. Biol.* 18:1-8 (査読あり)  
DOI: 10.3354/ab00489
3. Watanabe YY, Wei Q, Du H, Li L, Miyazaki N (2013) Swimming behavior of Chinese sturgeon in natural habitat as compared to that in a deep reservoir: preliminary evidence for anthropogenic impacts. *Environ. Biol. Fish.* 96:123-130 (査読あり)  
DOI: 10.1007/s10641-012-0019-0
4. Miller PJO, Biuw M, Watanabe YY, Thompson D, Fedak MA (2012) Sink fast and swim harder! Round trip cost-of-transport for buoyant divers. *J. Exp. Biol.* 215: 3622-3630 (査読あり)  
DOI: 10.1242/jeb.070128
5. Watanabe YY, Lydersen C, Fisk AT, Kovacs KM (2012) The slowest fish: swim speed and tail-beat frequency of Greenland sharks. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 426: 5-11 DOI: 10.1016/j.jembe.2012.04.021 (査読あり)
6. Aoki K, Watanabe YY, Crocker DE, Robinson P, Biuw M, Costa DP, Miyazaki N, Fedak M, Miller PJO (2011) Northern elephant seals adjust gliding and stroking patterns with changes in buoyancy forces: validation of at-sea metrics of body density. *J. Exp. Biol.* 214: 2973-2987 (査読あり)  
DOI: 10.1242/jeb.055137
7. Watanabe YY, Sato K, Watanuki Y, Takahashi A, Mitani Y, Amano M, Aoki K, Narazaki T, Iwata T, Minamikawa S, Miyazaki N. (2011) Scaling of swim speed in breath-hold divers. *J. Anim. Ecol.* 80: 57-68 (査読あり)  
DOI:10.1111/j.1365-2656.2010.01760.x
8. Watanabe YY, Takahashi A, Sato K, Viviant M, Bost C-A (2011) Poor flight performance in deep-diving cormorants. *J. Exp. Biol.* 214: 412-421 (査読あり)  
DOI: 10.1242/jeb.050161
9. Nakamura I, Watanabe YY, Papastamatiou YP, Sato K, Meyer CG (2011) Yo-yo vertical movements suggest a foraging strategy for tiger sharks *Galeocerdo cuvier*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 424: 237-246 (査読あり)  
DOI: 10.3354/meps08980
10. Matsumura M, Watanabe YY, Robinson PW, Miller PJO, Costa DP, Miyazaki N (2011) Underwater and surface behavior of

homing juvenile northern elephant seals. *J. Exp. Biol.* 214:629-636 (査読あり)

DOI: 10.1242/jeb.048827

11. Sato K, Shiomi K, Watanabe Y, Watanuki Y, Takahashi A, Ponganis PJ (2010) Scaling of swim speed and stroke frequency in geometrically similar penguins: they swim optimally to minimize cost of transport. *Proc. R. Soc. B* 277:707-714 (査読あり)  
DOI: 10.1098/rspb.2009.1515
12. Kawatsu S, Sato K, Watanabe Y, Hyodo S, Breves JP, Fox KB, Grau GE, Miyazaki N (2010) A new method to calibrate attachment angles of data loggers in swimming sharks. *EURASIP J. Adv. Signal Process.* Article ID 732586, 6 pages (査読あり)  
DOI:10.1155/2010/732586

[学会発表] (計 8 件)

1. Watanabe Y, Lydersen C, Fisk T, Kovacs M. The slowest fish: swim speed and tail-beat frequency of Greenland sharks. The Third Symposium on Polar Science, 国立極地研究所、2012年11月
2. Watanabe, Y. Monitoring prey captures in wild animals: the case of penguins. JSPS Core to Core Program “1st International Seminar on Biodiversity and Evolution” 京都大学、2012年9月
3. Watanabe, Y. Foraging behavior of Adélie penguins monitored by video and acceleration loggers. The Second Symposium on Polar Science, 国立極地研究所、2011年11月
4. Watanabe, Y, Lydersen C, Fisk T, Kovacs M. Swimming performance of a polar predator, the Greenland shark. 1st International Conference on Fish Telemetry, 北海道大学、2011年7月
5. 渡辺佑基 北極のニシオンデンザメはのろのろ泳ぐ 日本バイオリギング研究会第6回シンポジウム, 国立極地研究所, 2010年7月
6. 渡辺佑基・高橋晃周・佐藤克文・Charles-André Bost 飛行と潜水。鵜に天は二物を与えたか 平成22年度日本水産学会春季大会 日本大学生物資源学科学部, 2010年3月
7. 渡辺佑基・松村萌・Patrick Miller・Daniel Costa・Patrick Robinson・宮崎信之 キタゾウアザラシにおける浮力変化と遊泳行動 平成22年度日本水産学会春季大会 日本大学生物資源学科学部, 2010年3月

8. Watanabe, Y. Scaling of swim speed in free-ranging seabirds, marine mammals, and sea turtles. Xth SCAR International Biology Symposium, 北海道大学, 2009年7月

[図書] (計 1 件)

1. 内藤靖彦・佐藤克文・高橋晃周・渡辺佑基 「バイオリギング ペンギン目線の動物行動学」成山堂書店 2012年 (55-77 ページを担当)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡辺 佑基 (WATANABE YUUKI)

国立極地研究所・研究教育系・助教

研究者番号：60531043