

海水域におけるペンギン研究計画 (SIPENS) 実施報告
(JARE-37~41 次夏隊観測)

内藤靖彦¹・綿貫 豊²・宮本佳則³・加藤明子¹・市川秀雄⁴・荒井修亮⁵・
西川 淳⁶・佐藤克文¹・黒木麻希^{7*}・高橋晃周^{7†}・遠藤宣成⁸・
岩見哲夫⁹・沼波秀樹⁹

Report on Sea Ice and Penguin Study (SIPENS) by JARE-37~41

Yasuhiko Naito¹, Yutaka Watanuki², Yoshinori Miyamoto³, Akiko Kato¹,
Hideo Ichikawa⁴, Nobuaki Arai⁵, Jun Nishikawa⁶, Katsufumi Sato¹, Maki Kuroki^{7*},
Akinori Takahashi^{7†}, Yoshinari Endo⁸, Tetsuo Iwami⁹ and Hideki Numanami⁹

Abstract: As part of Southern Ocean GLOBEC (Global Ocean Ecosystem and Dynamics) sponsored by the Scientific Committee on Ocean Research and co-sponsored by the Scientific Committee on Antarctic Research, the research program of Sea Ice and Penguin Study (SEPENS) had been conducted at Syowa Station area. The program was promoted from 1995/6 to 1999/2000 season as one of the 5 years-core projects of Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) aiming to understand how Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*) respond to change of ice condition through their foraging and breeding behavior as indicator species of marine ecosystem changes. During 5 years season we surveyed the sea ice condition, diving and trip pattern and nest attendance pattern of penguins.

要旨: 日本南極地域観測事業第V期5カ年計画において海水域におけるペンギン研究観測 (Sea Ice and Penguin Study; SIPENS) を実施した。研究計画は海洋研究科学委員会 (SCOR) が推進する全球海洋生態系動態研究計画 (GLOBEC) の一つのテーマであり、南極科学研究委員会 (SCAR) が共催する南大洋 GLOBEC 計

¹ 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

² 北海道大学農学系研究科. Hokkaido University, Sapporo 060-8589.

³ 東京水産大学. Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477.

⁴ 北海道大学農学部博物館. The Museum, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060-0003.

⁵ 京都大学農学系研究科. Kyoto University, Kyoto 606-8501.

⁶ 東京大学海洋研究所. Ocean Research Institute, University of Tokyo, Nakano-ku, Tokyo 164-8639.

⁷ 総合研究大学院大学極域科学専攻. Graduate University of Advanced Studies, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

⁸ 東北大学農学研究科. Tohoku University, Sendai 981-8555.

⁹ 東京家政学院大学. Tokyo-Kasei University, Machida-shi, Tokyo 194-0292.

Present address:

* 新潟県立長岡高校. Nagaoka High School, Nagaoka 940-0041.

† 日本学術振興会海外特別研究員. British Antarctic Survey, Cambridge, U.K.

画に対応したものであり、生態系変動の指標種であるアデリーペンギンが海水変動にどの様に応答するかを解明することを目的とした。現場実験は昭和基地の 30 km 南、袋浦ペンギンコロニーにおいて第 37 次観測隊から第 41 次観測隊の夏期間の観測として行った。実験においては、海水の年々変動、季節変動の状況、ペンギンの潜水行動、採餌旅行、育雛行動の観察、計測を行った。

1. はじめに

日本南極地域観測隊生物・医学系研究部門では、第 37 次南極地域観測隊から第 41 次南極地域観測隊の夏観測において「海水域におけるペンギン研究計画」を実施した。以下に研究観測計画の立案、観測の実施、得られた成果の概要を報告する。

生物・医学系研究観測部門は、第 38 次南極地域観測隊から開始された第 V 期 5 カ年計画において、「南極環境と生物の適応に関する研究」を大きな研究課題として取り上げた。この課題の下、(1) 海水圏環境変動への生態系応答の研究、(2) 露岩域生物相の起源と定着に関する研究、(3) 低温環境下におけるヒトの医学・生理学的研究を実施した。「海水域におけるペンギン研究計画」は海水圏環境変動への生態系応答の研究のサブテーマの一つとして実施した。研究計画は第 IV 期 5 カ年計画中に検討され、その実施は第 V 期計画を待たずに、第 IV 期計画の最終年にあたる第 37 次南極地域観測隊から開始し、第 V 期 5 カ年計画に継続して実施した。

南極海の生態系変動の議論は、鯨資源の減少によるクジラの餌であるナンキョクオキアミの余剰と再配分から出発している。1970 年代、1980 年代に至り他の捕食者への余剰オキアミの再配分が終了しても生態系の変動は続いた。原因は別のところにもあるとし、気候変動との関係が議論された。この議論と平行して、南極海生態系と漁業活動の影響をモニターする観測がオットセイ、ペンギンなどを変動指標種として南極海海洋生物保存条約委員会 (CCAMLR) で実施され、その結果からも海水との関係が問題となった。その後、海水との関係を示唆する重要な資料が Fraser *et al.* (1992) や Siegel and Loeb (1995) らによって示されたが、変動のプロセスなどその実体はなお不明であった。一方昭和基地においてはアデリーペンギンの個体数の変化を 1960 年代から継続してモニタリングし、その結果個体数の変動は海水の状態と関係するらしいとのことが報告されている (Hoshiai *et al.*, 1981; Kanda *et al.*, 1986)。我々にとってもこの問題の解明が急がれていた。

そこで本研究計画においては、南極大陸周辺で繁殖し、海水の変動の影響を大きく受けるとされているアデリーペンギンを対象に、(1) 海水変動がペンギンの採餌行動に与える数週間 (育雛期) の時間スケールにおける影響、(2) 海水変動が繁殖成功および親の生存率を通じてその個体数変動に与える数年までの時間スケールにおける影響、(3) 海水変動の地域性とペンギンの応答、(4) ペンギンをサンプラーとした海水下のマイクロネクトン群集の変動性、などを明らかにすることを目的に現場における観測計画を立案した。なお、本研究計画は海

洋研究科学委員会（SCOR）などが進める国際共同研究計画である全球海洋生態系動態研究計画（GLOBEC; Global Ocean Ecosystem Dynamics）の内の SO-GLOBEC（Southern Ocean GLOBEC）計画に対応した計画であり、南極地域観測事業と同時に日仏国際共同研究としてフランス・クローゼ基地およびデュモンデュルビル基地においても同時に観測を実施した。本報告は昭和基地における観測計画の実施状況を示したものである。

2. 研究計画の立案経過

研究計画は、国際 SO-GLOBEC 委員会のもとに検討されたナンキョクオキアミ、動物プランクトン、および捕食者と海洋環境動態との関係の把握を目的とした SO-GLOBEC 研究計画に対応する形で国内の大学等の関心のある関係者により発案された。具体的計画は平成 6 年より東京大学海洋研究所や国立極地研究所のシンポジウム、研究小集会において専門の研究者により検討され、研究計画が立案された。研究計画の検討には、北海道大学農学部、北見工業大学、東北大学農学部、東京大学海洋研究所、東京水産大学、京都大学農学部・理学部、東京家政学院大学、早稲田大学理工学部、水産庁遠洋水産研究所（当時）、国立極地研究所の研究者が参加した。数年間の検討においては、観測内容はもとより、測器開発、予算（科研費の申請も含め）、動物取扱いの国内訓練、データ処理と解析、現場観測への参加者の決定などについて詳細に検討を行った。

研究小集会で検討された研究計画は、南極観測事業の観測計画の検討並びにその実施についての検討を行うために国立極地研究所に設置されている生物・医学専門委員会で検討された。研究計画の全体については、平成 6 年 5 月開催された同委員会に提案され、第 IV 期 5 年計画の最終年次から開始することが承認された。さらに平成 7 年 2 月開催の同委員会において初年度の研究計画の実施が、第 37 次観測実施計画として了承された。さらに同年 6 月の第 106 回南極観測事業統合推進本部で承認された。また、38 次観測隊以降の計画も第 VI 期 5 年計画の生物・医学部門における課題の一つとして継続することが承認された。以後観測隊次ごとに観測計画、実施計画が同様の手続きを経て承認され観測が実施された。

本研究計画は動物の野外実験を行うため、その取扱いについては慎重を期すことが求められている。このため、生物・医学専門委員会は研究計画における動物の倫理的取り扱いについての検討を行うため、第三者からなる動物の倫理的取り扱いに関する委員会を設け、計画の妥当性について検討を受けた。計画は一部変更し、計画実施の了承を得た。なお、計画は SCAR の生物作業委員会が設けた動物実験の倫理的ガイドラインにも従った。なお、本報告をとりまとめるにあたり日本南極地域観測隊第 37 次～41 次報告（国立極地研究所、1997、1998、1999、2000、2001）を参考にした。

3. 観測経過

3.1. 観測参加者

現場観測は夏隊員2名で行うこととし、さらに同行者として総合研究大学院学生の参加を得て行う計画としたが、隊員の枠が2名得られない時は当該隊あるいは越冬終了した前次隊の生物隊員の参加を得て行った。このほか、医療担当隊員、海洋定常観測隊員の協力を得て観測を行った。各隊次における参加者は表1の通りである。なお、動物のハンドリングの訓練、各観測器の試験・運用訓練、記録計の動物装着訓練を必要に応じて行った。

表1 隊次別観測参加者（協力者を除く）
Table 1. List of participants of the SIPENS project.

隊次	参加者
37次	綿貫 豊（北海道大学農学系研究科） 宮本佳則（東京水産大学）
38次	加藤明子（国立極地研究所） 市川秀雄（北海道大学農学部）
39次	荒井修亮（京都大学農学系研究科） 黒木麻希（総合研究大学院大学極域科学専攻学生，同行者）
40次	西川 淳（東京大学海洋研究所） 佐藤克文（国立極地研究所，40次越冬隊員） 高橋晃周（総合研究大学院大学極域科学専攻学生，同行者）
41次	綿貫 豊（北海道大学農学系研究科） 佐藤克文（国立極地研究所，40次越冬隊員）

3.2. 観測実施期間

現場観測期間をなるべく長くとるため、昭和基地南約30kmにあるラングホブテ地域の袋浦観測小屋への移動は本格空輸作業開始前のなるべく早い段階に行った。また撤収も夏期間の観測隊のほとんどの作業が終了した、「しらせ」の反転北上直前に行った。観測開始時期は12月中・下旬、終了時は2月上・中旬となり、約2カ月間のペンギンの育雛の重要な期間、現場観測を行うことができた。なお、観測隊のスケジュール変更により、観測を一時中断することもあったが、ほぼ順調に予定の実験を行うことができた。以下に各観測隊における観測実施期間をまとめた。

37次観測隊	1995年12月17日～1996年2月8日
38次観測隊	1996年12月21日～1997年2月8日
39次観測隊	1997年12月18日～1998年1月7日 1998年1月27日～1998年2月8日
40次観測隊	1998年12月26日～1999年1月18日 1999年1月25日～1999年2月16日
41次観測隊	1999年12月20日～2000年2月11日

3.3. 袋浦実験コロニー

リュツォ・ホルム湾内には9カ所のコロニーが存在し、規模は数ペア～1000ペアと様々である。これらのうち、実験が安定的に行える規模のコロニーとして昭和基地南約30kmにあるラングホブデ露岩地域中央部にある袋浦コロニーを選択した(図1)。袋浦コロニーのペンギン繁殖数は約200ペアで、リュツォ・ホルム湾内では中規模のコロニーである。コロニーは東北向きに海が開け、南西側は小高い丘となる地形である。大部分のペンギンは東北に向けた海岸から採餌トリップに出ていたが、少数のペンギンは丘を越えて南西側から海に出ていた。

実験は5年計画であり、継続して使用するキャンプサイトでもあるため簡易宿泊用小屋(2.6m×2.6m, 31次隊設置)をぬるめ池から、アップルハットを昭和基地から、36次越冬隊に依頼し移設した。この他実験機器の収納、室内での作業のため居住カブース(19次隊搬入)の整備を36次越冬隊に依頼した。これ以外に必要なに応じてテントを搬入してペンギンの観察を行った。通信は定時交信で行い、通信機はVHF(149.45MHz, 1Wハンディートーキ)、HF(4.549MHz)を使用した。VHFアンテナは小屋の屋根に取り付けた、HFアンテナは小屋裏の小高い丘に昭和基地との交信感度がもっとも良好な方位に設置した。HF通信は昭和基地(JGX)、「しらせ」(JSVY)両局とも交信感度は良好であったが、VHFはJSVY局との通信感度が悪く、JGXに中継を依頼した。発電機は37, 38次隊では1.2kW, および0.3kWを39次隊からは1.5kW, 0.5kWを使用した。持ち込み物資量は隊次により異なるが、1.5-1.8トンであり、観測機材(約500kg)の他、食糧(約500kg)、水(全量持ち込み、約300-400l)、発電機用ガソリン、EPIガスボンベ、灯油などであった。未使用の物資は隊次ごとに

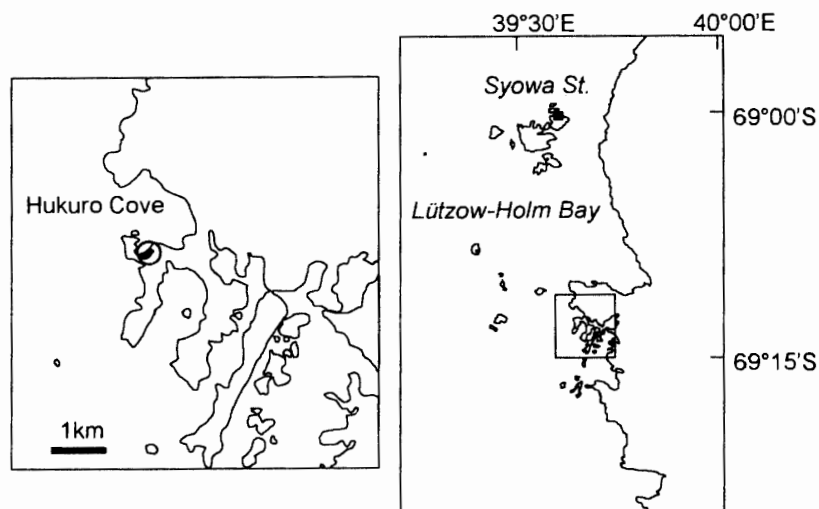


図1 調査地のリュツォ・ホルム湾ラングホブデ地域の袋浦アデリーペンギンコロニー
 Fig. 1. Adélie penguin colony at Hukuro Cove, Langhove, Lützow-Holm Bay.

持ち帰ったが、観測最終年には 1.8 トンの物資を持ち帰った。

3.4. 海水状況

海水のアデリーペンギンへの影響は季節によって異なる。冬期、ペンギンは沖合のバックアイス域に移動し、バックアイス下は採餌域として、またバックアイス上は休息場所として利用する。バックアイスの状況の変化はペンギンの分布や移動に影響を与え、夏期の繁殖場への回帰率の変化として表れると考えられている。また、ペンギンは夏期には定着氷に囲まれた大陸周辺の露岩域で繁殖活動を行う。夏期の海水の変動は、育雛期の雛への餌の確保と関係し雛の巣立ち率を左右するため、個体数変動へのより直接的な要因となると考えられている。このため海水の消長の年々変動や季節変動を把握することは本計画の重要な研究課題となっていた。しかし、定着氷の定量的観測を簡便に行うことは困難であるため、本研究ではヘリコプターによる空中写真撮影、コロニーサイト近くの高台からの肉眼観察により行った。

コロニー周辺の海水の年変動は大きく、37 次隊 (1995/1996)、40 次隊 (1998/1999)、41 次隊 (1999/2000) では定着氷は強固で、育雛期を通じて大きく変化することなく、1 月に入り僅かにタイドクラック周辺に水開きが見られ、1 月中・下旬にタイドクラック、氷山周辺にも水開きが広がり、パドルも見られるようになった程度で、周辺が完全に水開き状態となることはなかった。38 次隊 (1996/1997) において 1 月後半には、完全な水開きとはならないもののバックアイス化し、小指岬以南には水開きが見られる状態であった。39 次隊 (1997/1998) においては 12 月下旬頃より周辺はバックアイス化し、1 月下旬にはバックアイスも流失し、完全な水開き状態 (沖合には定着氷が存在している) となった (図 2)。

3.5. 観測実施項目

観測はどの隊次でも行う標準化されたモニタリング実験と、隊次ごとに異なるトリップ実験からなる。モニタリング実験は、コロニーのマッピングと実験個体の選択 (20 ペア)、水深記録計装着による長期潜水記録 (3 週間連続して装着) と観察によるトリップ長の記録 (実験期間中トラッキング、装着・胃内容物採取、観察ごとの 3-5 日を 1 タームとする実験群を各 3 ターム実施)、雛の成長速度および生存率の記録を行った。トリップ実験では、モニタリング個体と異なる個体を選択、各種潜水行動記録計の装着と回収、胃内洗浄法による胃内容物の採集などを行った。洗浄には体温程度まで温めた海水を用い、一回に 2-3 度行った。雛への給餌用の胃内容物をほとんど回収できた。個体識別はモニタリング個体、トリップ個体とも毛染めを用いた羽毛染色法とフリッパーバンドを併用して行った。

このほか、採餌場所特定のためのラジオトラッキング実験を 39 次隊以外の隊次で行った。トラッキング個体 (8-10 個体 41 次隊ではモニタリング個体 40 個体もトラッキングした) に

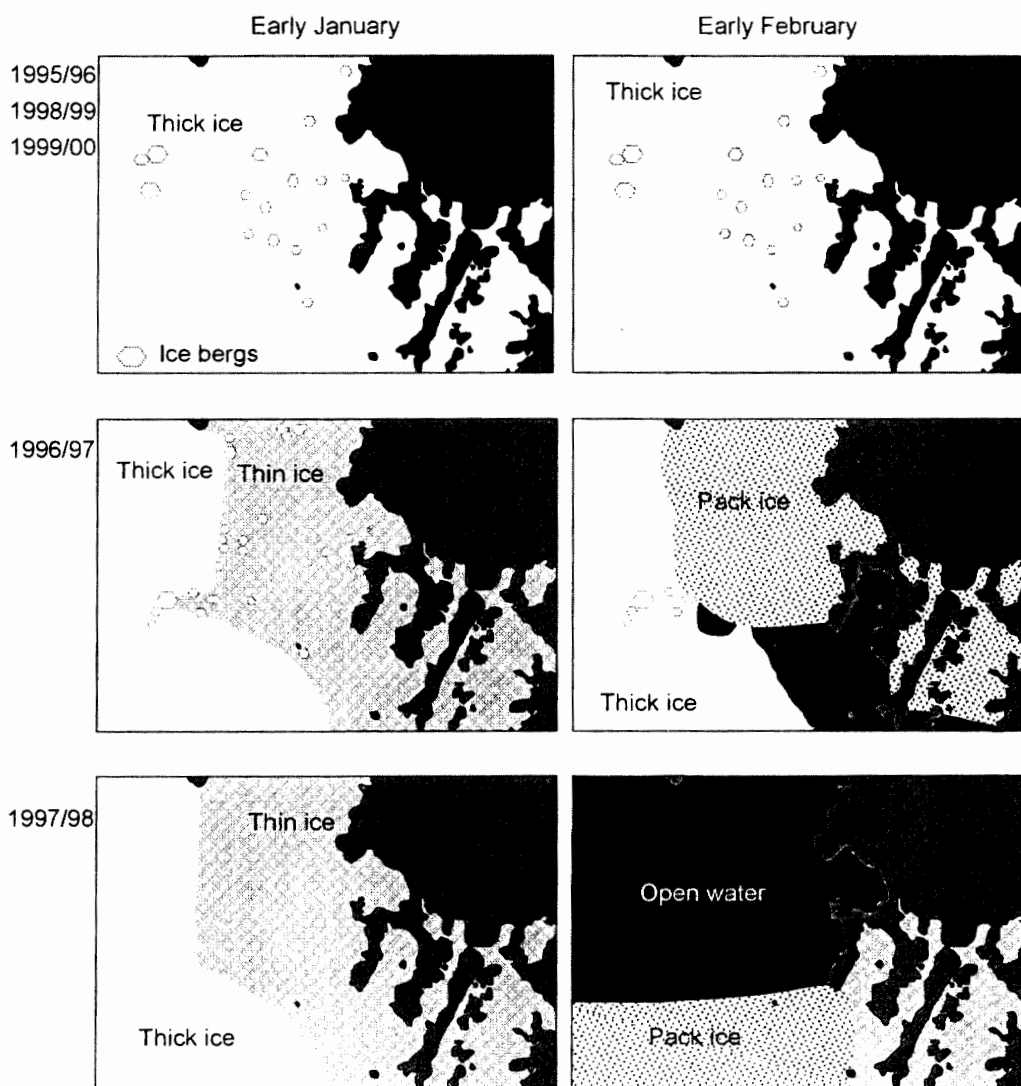


図2 袋浦アデリーペンギンコロニー周辺の海氷の年および季節変動

Fig. 2. Annual and seasonal change in sea ice distribution around the Hukuro Cove Adélie penguin colony.

は 146-148 MHz の小型微弱電波発信機 (ATS 社製, 間欠発信, 5 mmW) を装着し, コロニーの西側の高台 (海水準高度約 25 m) と小指岬の高台 (約 40 m) に設置した 7 素子八木アンテナ 2 列スタック (DIAMOND A144S7×2) および受信機 (八重洲 FT290-MK-II) で方向探知し, 採餌場所を記録した. 採餌場所は全般に時間経過とともに遠方に移動する傾向が見られたが, 海氷状況が悪い場合は沖合に移動しても氷山周辺の水開きを利用する傾向が見られた.

モニタリングやトリップ実験の効率化をはかるため, 自動モニタリングシステム (AMS) を導入した. コロニー全域を岩盤に固定した支柱とビニール被膜の金網で囲い, 2 個所にベ

ンギン出入ゲートを設け、ゲートに光電管と連動の自動体重計測装置（日製産業社製）およびペンギンに装着した個体識別用小型トランスポンダー（径 3 mm, 長さ 24 mm, TEXSUS INSTRUMENT 社製）受信アンテナおよび記録装置を設置した。体重記録計はペンギンの行動と光電管の計測のタイミングが合わず、国内実験で検証したような結果は得られなかった。一方、個体識別用トランスポンダー受信機は順調に作動したが、モニタリングの 37 装着個体のうち 9 個体から脱落があり、すべての個体の識別を自動化することはできなかった。

3.6. 潜水行動記録計

本 SIPENS 計画は南極海洋生態系観測に不可欠な水中の情報を効率的に収集する新たな手法として潜水行動記録計を大量に利用したことに大きな特徴を有する。水中における動物

表 2 本研究で用いたデータロガーの仕様と潜水深度の測定間隔
Table 2. Information of data loggers used in this study and its programmed sampling interval.

Data loggers	Parameter data type*	Size(mm) diameter	length	Weight (g)	Depth accuracy(m)	Depth resolution(m)	Sampling interval for depth (s)
NIPR-DT	Depth Temperature	14	85	27	1	0.5	5(1995 Monit), 3(1996,1997 Monit) or1(1996Trip)
UME-DT	Depth Temperature	15	50	14	1	0.05	3
KS-DT	Depth Temperature	19	75	36	1	0.1	2
KS-DC	Depth Conductivity	19	75	36	1	0.1	2
KS-DCL	Depth Conductivity Light	19	75	36	1	0.1	2
UWE-DCL	Depth Conductivity Light	20	107	66	1	0.05	1
UWE-PDT	Depth Temperature Speed	20	102	50	1	0.05	1
UWE-PD2G	Depth Speed Acceleration	20	122	60	1	0.05	1
UWE-PD2GT	Depth Speed Acceleration Temperature	21	117	60	1	0.05	1

*Only depth data was used in this study

*本研究では潜水深度データのみを使用した

の行動情報を効率的に高精度で得る方法の一つとして各種動物装着用記録計の開発が各国で進められている。我が国においても国立極地研究所を中心に開発を進め、高機能の記録計の開発に成功しているが、本研究計画において現場観測と同時にさらに高機能の機器の開発を行うことも課題としていた。トリップ実験では新たな記録計を用いるため、隊次により異なる記録計や計測手法を用いている。以下に現場実験で用いた記録計のリストを示す (表 2)。

4. データの概要

5年間の実験により多くの新規のデータやサンプルを得ることが出来た。既に持ち帰ったデータやサンプルは一次処理、解析をほぼ終了し、国内外の学会やシンポジウムにおいて発

表 3 各年についてのデータロガー・トランスミッターの装着数、装着時期、回収数とデータが得られた個体数

Table 3. Information of deployment and retrieval of data loggers, and number of reliable data obtained for study birds in each year.

a) Monitoring birds

Year	Data loggers	No. nests	Date of deployment	Date of retrieval	No. birds deployed	No. birds with radio-transmitters	No. loggers retrieved	No. reliable data
1995/96	NIPR-DT	20	Dec 23-26	Jan 16-22	40	0	39	24
1996/97	NIPR-DT	17	Dec 23-30	Jan 20-Feb 7	34	10	29	27
1997/98	NIPR-DT / UME-DT	16	Dec 21-27	Jan 27-Feb 3	31	0	29	25
1998/99	UME-DT	16	Dec 28-Jan 5	Jan 25-Feb 10	32	10	19	17
1999/2000	UME-DT	20	Dec 25-29	Jan 25-Feb 1	40	40	39	39

b) Trp birds

Year	Type of data loggers used for the year	Term	Date of deployments	Date of retrieval	No. birds deployed	No. birds with radio-transmitters	No. loggers retrieved	No. reliable data*
1995/96	KS-DT/KS-DCL	1	Dec 28	Dec 28-30	10	0	9	9
		2	Jan 6	Jan 6-8	20	0	20	19
		3	Jan 16	Jan 17-19	10	0	9	7
1996/97	UWE-DCL / UWE-PDT / NIPR-DT	1	Dec 30-Jan 1	Dec 31-Jan 1	10	0	10	9
		2	Jan 9-10	Jan 9-10	10	0	10	9
		3	Jan 19-20	Jan 20-24	9	0	6	2
1997/98	UWE-DCL / UWE-PDT / UWE-PD2G	1	Dec 28-Jan 5	Dec 28-Jan 5	21	0	21	10
1998/99	UWE-PDT / UWE-PD2G / UME-DT	1	Dec 31-Jan 3	Dec 31-Jan 4	24	9	24	18
		2	Jan 9-10	Jan 9-11	14	10	14	10
		3	Jan 14-15	Jan 14-17	17	0	16	7
		4	Jan 17, 26	Jan 25-31	13	5	7	1
1999/2000	UWE-PDT / UWE-PD2GT	1	Dec 28-31	Dec 31-Jan 1	20	10	16	15
		2	Jan 4-7	Jan 5-8	25	15	20	20
		3	Jan 14-18	Jan 15-19	21	12	15	15
		4	Jan 25-27	Jan 27-29	13	10	11	10

*No. birds with dive data covering full foraging trip and with stomach contents data.

*探餌トリップ全体をカバーする潜水データと、胃内容物の両方が得られた個体数

表3 続き

Table 3. continued.

c) Radio-tracking birds

Year	Data logger deployed together with a radio-transmitter	No. birds with data	Period of radio-tracking
1995/96	KS-DC	8	Jan 2-4
		8	Jan 12-14
		7	Jan 23-25
1996/97*	NIPR-DT	7	Dec 26-27
		8	Jan 5-7
		6	Jan 15-17
		2	Jan 26-27
1997/98	No deployments	No data	
1998/99#	UWE-PDT/UME-DT	8	Dec 31- Jan 1
		10	Jan 10-11
		8	Jan 26, 31
1999/2000*	UME-DT	39	Dec 27- Jan 3
		39	Jan 4-10
		40	Jan 11-18
		40	Jan 19-27

*Same birds were radio-tracked throughout the periods. Monitoring birds were used.

#Trip birds were used for Dec 31- Jan 1 and Jan 10-11. Monitoring birds were used for Jan 26 and 31.

*季節を通じて同一個体からデータを得た年。モニタリング個体を使用。

#12月31日-1月1日、1月10-11日についてはトリップ個体、1月26、31日についてはモニタリング個体を使用。

表4 昭和基地における旬別の平均気温と平均風速 (Japan Meteorological Agency 1966-2001 より改変)

Table 4. Mean air temperature and wind speed at Syowa Station (Modified from Japan Meteorological Agency 1996-2001).

		1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/2000
Mean air temperature (°C)	Late Dec.	-2.3	-0.5	-0.3	-2.4	-4.0
	Early Jan.	-0.9	-1.7	1.3	-0.2	-2.2
	Middle Jan.	-3.1	-1.1	-0.6	-0.6	-0.3
	Late Jan.	-0.3	-0.6	-1.2	-2.6	-4.2
	Early Feb.	0.4	-0.7	-1.2	-4.3	No Data
Mean wind speed (m/s)	Late Dec.	3.97	4.52	4.88	4.77	4.14
	Early Jan.	5.40	3.90	4.03	7.59	5.83
	Middle Jan.	2.33	2.78	6.23	5.85	5.70
	Late Jan.	3.92	3.55	4.83	9.56	2.60
	Early Feb.	5.23	7.58	5.76	7.05	No Data

表され、論文としても国内外で発表を行っている (発表論文 20 編)。さらに研究を進め、データを有効に利用するためにデータの整理を行いつつあるが、実験における使用測器の状況、気候、得られた主なデータの概要は以下の通りである。

本研究においては、従来は少数の記録計により断片的に行ってきた行動の計測をまとめた数を集中的に使用することに大きな特徴があった。用いた記録計の種類と数、送信機の使

用状況を表3に示した。海氷については既に説明したが、海氷に直接影響すると考えられた気温と風速について昭和基地の旬別地上データ(表4)をもとに関係を検討したが明確な結果は得られなかった。しかし、37次隊、38次隊において海氷が弛んだことは12月下旬~1月上旬の平均気温の高さと関係しているようであった。詳細な海氷との関係の解析には、氷厚、積雪、日射量など関係するさらに詳細なデータが必要であるが、これらについての現場データを取得することは、海氷上の行動の危険性などから実施しなかった。

採餌場特定の目的で各隊共通の方法でトラッキング実験も行った。海氷の開き具合と雛の成長による餌要求量の変化及び餌場へのトリップの距離との関係を検討するため、旬別の餌場への移動距離をトラッキング観測から求めた(附表1)。氷状の悪い年も距離が伸びていることから、餌要求量に応じて、あるいは周辺の餌の食べつくしから距離が伸びていることが示された。

個別の方法を開発して隊次ごとに異なるテーマで行ったトリップ実験と潜水、採餌、繁殖の標準化された基本データ取得を目的にモニタリング実験を各隊共通で行った。このモニタリング実験によって、南極においても極めて氷状が厳しいといわれる昭和基地周辺の定着水域で特異的に繁殖するアデリーペンギンの採餌潜水行動および繁殖の克明な記録を得ることが出来た。モニタリング実験で得られたデータの内、平均の潜水深度、潜水時間、水面滞在時間の年変化、雌雄差について附表2に示した。一日当たりの潜水に費やす総時間数(平均、最小、最大)を附表3に、また採餌のために要した旅行時間(平均)および巣で雛を守っていた時間(平均)を附表4に示した。雛への給仕頻度、雛の成長速度、繁殖に関する基本的パラメータを附表5に示した。これらの結果は、今後の異なる地域、異なる氷状のアデリーペンギン、あるいは将来的には異なる年代の比較研究において重要な基礎資料となるため附録とした。

5. おわりに

計画から含めて約7年間を要した研究計画であるが、ほぼ予定通り現場実験を終えることができた。この研究計画の実施に当たっては多くの機関、研究者からご支援を受けた。シンポジウム開催、研究小集会の開催、隊員派遣の協力について前記機関のご支援を受けた。また、現場実験に当たっては関連観測隊の隊長、隊員の強力なサポートを頂いた。人員・機材の輸送では「しらせ」の臨機応変のご支援を受けた。ここに心から感謝申し上げます。また、国内での各種予備実験や訓練に快くご協力して頂いた東京都葛西水族園、名古屋港水族館、鴨川シーワールドには特に感謝申し上げます。

文 献

Fraser, W.R., Trivelpiece, W.Z., Ainley, D.G. and Trivelpiece, S.G. (1992): Increases in Antarctic penguin

- populations: reduced competition with whales or a loss of sea ice due to environmental warming? *Polar Biol.*, **11**, 525–531.
- Hoshiai, T., Matsuda, T. and Naito, Y. (1981): Fluctuation of Adélie penguin populations in two small rookeries of Syowa Station area, Antarctica. *Nankyoku Shiryo* (Antarct. Rec.), **73**, 141–146.
- Kanda, H., Satoh, H. and Watanabe, K. (1986): Adélie penguin census in 1983–84 breeding season in the Syowa Station area, East Antarctica. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **40**, 325–329.
- 国立極地研究所 (1997): 日本南極地域観測隊第 37 次隊報告. 東京, 468 p.
- 国立極地研究所 (1998): 日本南極地域観測隊第 38 次隊報告. 東京, 589 p.
- 国立極地研究所 (1999): 日本南極地域観測隊第 39 次隊報告. 東京, 326 p.
- 国立極地研究所 (2000): 日本南極地域観測隊第 40 次隊報告. 東京, 423 p.
- 国立極地研究所 (2001): 日本南極地域観測隊第 41 次隊報告. 東京, 399 p.
- Siegel, V. and Loeb, V. (1995): Recruitment of Antarctic krill (*Euphausia superba*) and possible causes for its variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **123**, 45–56.

(2002 年 6 月 10 日受付; 2002 年 6 月 25 日改訂稿受理)

附表 1 各年・各季節の採餌場所までの距離

Table A1. Mean distance of foraging sites from breeding colony.

Year	Period	No. sites (No. birds)	Mean distance from colony (km)	SD	ANOVA*
1995/96	Jan 2-4	27 (8)	1.49	1.01	df=2,84
	Jan 12-14	33 (8)	1.03	0.55	F=14.8
	Jan 23-25	27 (7)	2.36	1.23	P<0.01
1996/97	Dec 26-27	15 (7)	0.52	0.52	df=3,75
	Jan 5-7	32 (8)	0.94	0.45	F=29.9
	Jan 15-17	26 (6)	2.45	1.13	P<0.01
	Jan 26-27	6 (2)	2.78	1.12	
1998/99	Dec 31- Jan 1	24 (8)	0.77	0.66	df=2,62
	Jan 10-11	25 (10)	0.69	0.48	F=16.1
	Jan 26, 31	16 (8)	2.91	2.53	P<0.01
1999/2000	Dec 27- Jan 3	139 (39)	0.82	0.62	df=3,578
	Jan 4-10	96 (39)	0.87	0.74	F=9.3
	Jan 11-18	174 (40)	1.20	0.78	P<0.01
	Jan 19-27	173 (40)	1.10	0.71	

*One-way ANOVA for seasonal changes in foraging site distances in each year.

*各年における採餌場所までの距離の季節変化についての一元配置分散分析

附表 2 モニタリング個体における個体ごとの潜水パラメータの年変化および性差 (各シーズン 12月31日から1月15日までのデータを使用)

Table A2. *Between-year and sex differences in dive parameters for monitoring birds. All dives recorded during December 31–January 15 were used for each year.*

Year	Sex	No. birds	Mean dive depth (m)	sd	Mean dive duration (s)	sd	Mean surface time (s)*	sd
1995/96	Female	11	22.8	3.8	96.9	10.2	50.3	11.2
	Male	13	20.2	10.6	89.0	23.2	41.9	13.6
1996/97	Female	13	14.7	6.7	56.2	12.6	27.1	7.6
	Male	14	12.4	6.2	53.5	9.7	25.0	9.2
1997/98	Female	12	14.3	9.3	45.6	14.7	22.4	6.2
	Male	13	16.2	6.1	55.1	30.4	29.6	19.9
1998/99	Female	8	19.2	3.9	74.1	7.9	38.8	8.3
	Male	9	18.3	5.6	72.9	13.1	35.3	8.0
1999/2000	Female	20	13.2	4.0	64.7	10.0	30.4	7.0
	Male	19	12.6	3.9	63.9	11.3	32.5	7.0
Two-way ANOVA								
Factors	Year	F-value	8.74		28.2		16.1	
		P	<0.01		<0.01		<0.01	
	Sex	F-value	0.61		0.05		0.24	
		P	0.44		0.83		0.62	
	Year*Sex	F-value	0.52		0.98		1.97	
		P	0.72		0.42		0.1	

*Surface time within dive bouts were used.

*表面滞在時間は潜水バウト内のものに限って用いた

附表3 モニタリング個体における一日あたりの潜水時間の年変化および性差

(各個体について12月31日から1月15日までのデータを使用)

Table A3. *Between-year and sex differences in time spent diving per day for monitoring birds. All days with dive data during December 31–January 15 were used for each year.*

	Year	Time spent diving per day (h)				
		Mean	SD	No. birds/nests	Min.	Max.
Female	1995/96	5.05	1.38	12	2.71	7.05
	1996/97	5.09	1.81	13	2.88	8.77
	1997/98	4.66	0.92	12	3.2	6.59
	1998/99	3.84	0.96	8	2.51	5.33
	1999/2000	4.74	1.15	20	3.06	7.18
Male	1995/96	4.75	1.37	13	2.81	7.38
	1996/97	4.55	1.07	14	2.84	6.48
	1997/98	3.88	0.8	13	2.25	5.18
	1998/99	3.68	0.72	9	2.99	5.45
	1999/2000	3.51	0.61	19	2.56	4.7
Pair (Female+Male)	1995/96	10.17	2.82	8	6.4	13.8
	1996/97	9.96	2.58	10	5.55	14.43
	1997/98	8.56	1.46	10	6.61	10.58
	1998/99	7.47	0.84	5	6.37	8.56
	1999/2000	8.01	1.53	18	5.58	10.86

Two-way ANOVA (Male, Female)

Factors	Year	F-value	4.19
		P	<0.01
	Sex	F-value	8.87
		P	<0.01
	Year*Sex	F-value	1.03
		P	0.4

One-way ANOVA (Pair)

Factor	Year	F-value	3.17
		P	<0.05

Min.: Minimum value for the year.

Max.: Maximum value for the year.

Min.: その年の中での最小値

Max.: その年の中での最大値

附表4 12月下旬から1月中旬にかけての採餌トリップ長と雛のガード時間の年変化と性差

Table A4. Between-year and sex differences in foraging trip and chick-guard durations during late December–mid January.

Year	sex	No. birds	Mean foraging trip duration (h)	sd	Mean guard duration (h)	sd
1995/96	Female	20	19	4.1	15.3	6.5
	Male	20	17.5	4.5	15.5	4.5
1996/97	Female	17*	20.8	8.6	11.7	3.5
	Male	17	16.9	7.7	13.5	5.9
1997/98	Female	15	14.5	4.0	14.2	4.4
	Male	15	12.2	3.5	17.3	4.0
1998/99	Female	16	14.8	4.7	14.6	4.9
	Male	16	13.9	4.1	16.6	4.6
1999/2000	Female	20	16.3	3.8	14.9	3.9
	Male	20	13.6	3.6	17.3	2.7
Two-way ANOVA						
Factors	Year	F-value	7.8		3.2	
		P	<0.01		<0.05	
	Sex	F-value	8.3		7.2	
		P	<0.05		<0.01	
	Year*Sex	F-value	0.16		0.5	
		P	0.96		0.73	

*Sample size for foraging trip duration was 16.

*採餌トリップ長についてのサンプル数は16.

附表5 雛数が1の巣と、2の巣の間での給餌頻度、雛の成長速度の比較 (mean ± SD)

Table A5. Meal delivery rate and chick growth rates in relation to brood size.

Year	Variables	Brood size		Mann-Whitney U-test	
		1	2	z	P
1995/96	Number of nests	4	16		
	Meal delivery rate by pair (n/day)	1.00±0.34	1.43±0.24	-1.89	0.059
	Meal delivery rate by female (n/day)	0.50±0.00	0.74±0.19	-2.65	<0.01
	Meal delivery rate by Male (n/day)	0.50±0.34	0.69±0.13	-1.56	0.12
	Chick growth rate (g/day)	83.0±23.4	86.0±21.3	-0.38	0.71
1998/99	Number of nests	8	8		
	Meal delivery rate by pair (n/day)	1.31±0.33	1.67±0.22	-2.04	<0.05
	Meal delivery rate by female (n/day)	0.63±0.17	0.90±0.22	-2.31	<0.05
	Meal delivery rate by Male (n/day)	0.69±0.21	0.77±0.15	-0.68	0.49
	Chick growth rate (g/day)	106.2±11.5	101.6±12.6	-0.67	0.5