

氏 名 ROPERT-COUDERT YAN, MICHEL

学位（専攻分野） 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第527号

学位授与の日付 平成13年3月23日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 Fine-scale analysis of the foraging strategies
of free-ranging penguins

論文審査委員 主 査 教授 神田 啓史
教授 内藤 靖彦
教授 福地 光男
教授 今福 道夫 (京都大学)
教授 川口 弘一 (東京大学)

The large number of seabirds exploiting the Southern Ocean in relation to their status of potential competitors with human fisheries for key-species of commercial interests explain the prime importance of studies investigating the birds' feeding and foraging strategies. With this intention, progresses in the development of new technologies have allowed researchers to monitor the behaviour of animals while at sea using loggers that measure various parameters as a function of time.

In the past three years, deploying the most advanced technological devices in an integrative approach, multiple data per individual were recorded at a high sampling rate on free-ranging Adélie and King penguins in Adélie Land, Antarctica and Crozet archipelago, Southern Ocean, respectively.

In both King and Adélie penguins, depth utilization and swim speed as parameters of the foraging effort displayed by birds were principally investigated. In King Penguins, the feeding behaviour was revealed by abrupt accelerations in the speed profiles that corresponded to the active pursuit of prey. In the case of Adélie Penguins, swim speed and depth data were recorded in tandem with the monitoring of the oesophageal temperature, this latest being used to detect the ingestion of cold ectothermic prey, indicated by precipitous drops in the internal temperature of the predator. Thus, fine-scale foraging events could be directly related to feeding events.

Calibration experiments on captive penguins, handled on land and swimming in an exhibit pool, showed that the upper the sensors in the oesophagus, the higher the detection rate. Moreover, the magnitude of the temperature drop increase with the mass fed and decrease with increasing frequency of ingestion. Deployed on free-ranging birds in tandem with swim speed and depth loggers, the oesophagus temperature recording gave precious indication about the depths at which prey were taken. In addition to the feeding behaviour, several foraging strategies that may enhance the prey detection and/or capture were also revealed.

Based on these data obtained on free-ranging penguins, the potential way birds locate the patch of prey within a foraging trip, possibly using chemoreception during shallow diving activity, as well as an updating of the classification of the role of dives using their depth profile will be described. Some of the most striking strategies displayed by both Adélie and King Penguins will also be discussed in the present thesis, these being i) the optimization of the commuting phase of the dive cycle (22% of the prey catches were observed during the ascent of the dives of Adélie penguins); ii) the use of an upwardly focused hunting strategy that may be related to the detection of prey in the deep using a backlighting effect; iii) the modification in the dive angles in relation to a prey encounter (birds descending the water column with a steeper angle when prey have been encountered in the previous dive); and iv) the intra- and interspecific adaptation of the swim speed to the status of the dive (feeding or non-feeding) and the type of prey pursued: Indeed, Penguins swam at a speed that accords closely to the minimum cost of transport during non-feeding dives and during commuting phases. On

the other hand, the encounter with a prey led to an evolution in the range of speed used (the hunting speed of Adélie decreased, that of Magellanic increased and that of King Penguins became erratic), which depend on both the energetic advantages the birds might receive and the rate at which they could process prey.

Besides the optimization in the acquisition of food resources, the relevance of these adaptations to the reduction of the energy expended while foraging will be briefly evoked. The relevance of system for detection of prey intake, such as the oesophagus temperature recording, in tandem with other parameters to investigate the foraging behaviour and decision-making processes of free-ranging seabirds will be stated in a final conclusion.

論文の審査結果の要旨

本学位論文は、従来ほとんど試みられていない動物の水中における捕食行動の計測方法を新たに開発すると共に、さらにこの方法を現場の潜水動物に適用し、水中における動物の捕食行動を明らかにすることを目的としている。さらに、本論文では、数 100 m まで深く潜水することが知られている南極のペンギン類にこの方法を適用し、捕食行動について解析し、水中でペンギンがどのように餌探索を行い、どのような捕食行動を行っているかを捕食生態的観点から潜水行動の意味を検討することを目的にしている。

本論文は、従来の胃内温度と餌生物の温度差を測定し、温度変化の推移から餌量とタイミングを推定する方法として、小型の餌への感度の問題を指摘し、新たに食道温度変化の測定を提唱した。実際に飼育個体を用いて実験を行い、餌サイズおよび食道部位による感度レベルを検証した。キングペンギンの場合、嘴端部から 9、16、25、34 cm の位置にセンサーを置いた実験結果において、小型のナンキョクオキアミ (5 g) を検出し、従来の方法に比較して格段に感度の良い方法であることを確認している。方法的検証の後、南極の現場 (フランス、デュモン・デュルビル基地、ケルゲレン基地) において自然環境下のアデリーペンギンおよびキングペンギンで実験を行い捕食行動のデータを取得することに世界で初めて成功している。実験は食道温度計測用データロガー (径 15 mm、長さ 45 mm) および深度・温度・速度データロガー (径 20 mm、長さ 102 mm) を同時にペンギンに装着し、食道温度および潜水時の深度、遊泳速度を一秒間隔で微細に計測することに成功している。

実験の結果、ペンギン類は数 10 m から数 100 m の潜水行動を数時間繰り返すバウト潜水を頻繁に行ったことから計測装置が行動に与えた影響が少ないことを先ず確認している。一般にペンギン類の潜水にはある水深まで潜水し浮上してくるタイプと潜水の底部で鉛直移動を繰り返すタイプがあること知られているが、これまでにこの行動タイプについての説明はされていない。本研究はこの問題に先ず回答を与えている。潜水プロファイルと食道温度記録の解析から、彼らは潜水の降下中には餌を捕食することは全くないこと、潜水プロファイルの底部に至り鉛直移動を繰り返し行い、この時点で初めて餌を捕食していること、また浮上時にも餌を捕食することを発見している。この事実から、本論文は潜水動物の潜水底部で見られる鉛直移動行動は餌探索と関係するという仮説を初めて実証した。さらに、研究の大きな成果として、鉛直移動速度と遊泳速度から動物の移動角度を計算し、餌探索時の姿勢が下方から上方に向けて行われていることを発見し、多くの魚類で示唆されているカウンターシェーディング効果を大型の動物も利用していることを現場の直接的捕食行動の計測から初めて示した上で、これらの動物が昼間に捕食活動を行うことから数 100 m の深度においてもこれらの動物は視覚的に捕食行動を行っていることと指摘している。さらに、これらの動物が一定の水深に繰り返しバウト潜水を行っていること、潜水の降下中に捕食行動を全く取らないことから事前に餌探索水深を決定していると指摘している。また、動物が一端餌に遭遇した後は潜行角度を増大させて底部滞在時間を増やしていることも発見している。論文においてはこれらのことを総合して最終的にはペンギン類の採餌の最適化を行動的に行っていることをモデルで示した。

以上の様に審査委員会においては問題の設定、方法論、データ解析、結果の考察とそこからの議論の展開などが各々優れており、質の高い論文として評価した。