

学 位 論 文 題 名

Seasonal Distribution and Behavior of Loggerhead  
Sea Turtles in the North Pacific  
– *statistical analysis in relation to environmental  
oceanographic parameters*

(北太平洋におけるアカウミガメの季節分布と行動  
– 海洋環境要因に関する統計解析)

学位論文内容の要旨

Loggerhead sea turtles *Caretta caretta* nesting off coasts of Japan are known to travel an immense distance throughout their life, however much of their behavior in the open ocean is still not clear. Argos transmitters were attached to 30 turtles coming to nest or caught by fishnets near the coasts, and their tracks were recorded spanning several months to over a year. Unfortunately, location data were low in quality with nearly 70% of the points having error radii that could not be estimated. As an initial step, the noisy data were smoothed under a systematic set of criteria to remove redundant information and obtain the most reasonable paths taken, controlling both location and average velocity. Smoothed turtle tracks were obtained for all individuals with average velocities no greater than 250 cm/s.

Behavior was categorized into three groups; 1) remaining, 2) returning and 3) departing, among which significant differences were found in straight carapace lengths (SCLs), being largest for remaining turtles and smallest for departing turtles. Logistic regression estimated that the pivotal range of SCL to be 725 to 783 mm dividing coastal (remaining and returning) from non-coastal (departing) turtles. Longitudinal distributions were clearly different between behaviors and also within the returning turtles being west of 135°E from May to July due to mating and nesting, which took place near the coast. During the same season, departing turtles were in regions as far as 170°E. In latitudinal distribution, all turtles were seasonally variable, being in latitudes higher than 30°N during warmer months. Behavioral differences were examined based on relative velocity of the turtle with respect to ocean current, where geostrophic current velocity was obtained from

optimally interpolated satellite data (J-OFURO). Regression analysis was undergone comparing relative velocity to current velocity, along with other oceanographic parameters, such as sea surface temperature (SST) from AVHRR satellite data and nutrient concentrations from WOA01 climatological data. Turtle paths were divided into specific stages and comparisons were made between returning and departing turtles. In regions with strong Kuroshio currents, all turtles were being drifted, however returning turtles were swimming against currents more often than the departing turtles, which were reacting more to cooler SST. This indicates that returning turtles were unintentionally drifted into the direction of the strong currents. Frequently, turtles made roaming or circular movements in the open ocean, just off of the Kuroshio extension, possibly being drifted into circular currents or eddies, however in all cases, turtles confronted regions with plenty of prey during the roaming stage. After this stage, turtles either moved farther east to the Kuroshio extension bifurcation region, a hotspot for juvenile turtles, or changed their directions and headed back to nesting grounds. Deciding moments were characterized by a difference in current velocity magnitude and direction, which was mainly due to the turtles being at different latitudes, in which returning turtles were located south of the Kuroshio mainstream, being closer to cyclonic currents and nutrient-high eddies, whereas departing turtles were closer to the center of the mainstream. When returning turtles initiated their long journeys back to the coast spanning several months, they headed southward into regions of relatively weaker currents and with a lower chance of finding prey hence they seemed to have been extremely cautious concerning energy consumption. By swimming slower even in warmer SST, only swimming against weak currents to head towards high silicate regions, and swimming with the stronger currents of Kuroshio recirculation. They may have also been making frequent shallow dives in order to sense water temperatures at 50m-depth, heading towards warmer regions below the surface, as a cue to returning back to familiar waters by the coasts. Departing turtles in the Kuroshio extension bifurcation region were continuously influenced by the currents and constantly headed towards prey abundant regions, remaining in this area until transmissions ended.

It has been verified that ocean currents and other environmental factors influenced movement and behavior of loggerhead sea turtles in the North Pacific at different stages of their tracks. Abrupt environmental changes causing SST increase, distributional change in plankton and intensification of the Kuroshio and its recirculation gyre could have an impact on their behavior, however the degree of the impact would depend on the adaptability of the turtles. These effects as well as with those related to human activity are the determinant factors for their survival to endangerment.

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 東 正 剛

副 査 教 授 岩 熊 敏 夫

副 査 教 授 久保川 厚

副 査 教 授 佐 藤 克 文 (東京大学海洋研究所  
国際海洋沿岸研究センター)

## 学 位 論 文 題 名

### Seasonal Distribution and Behavior of Loggerhead Sea Turtles in the North Pacific - *statistical analysis in relation to environmental oceanographic parameters*

(北太平洋におけるアカウミガメの季節分布と行動  
- 海洋環境要因に関する統計解析)

本研究は、日本ウミガメ協議会が2000年から2006年にかけて雄7個体、雌16個体、性不明7個体、計30個体のアカウミガメに発信機を装着し、各個体あたり27~493日間追跡したArgosデータを解析したものである。これまで行われてきた海洋におけるアカウミガメの行動解析は数個体の追跡結果に基づくものばかりであり、これほど多くの個体を同時に解析した研究は少なくとも日本では初めてであり、アカウミガメの回遊行動を理解する上で非常に価値の高い研究成果として評価できる。

Argosデータは各ロケーションの精度を7段階に分けており、本データは最も精度の高いレベル3が4.1%、レベル2が10.2%、レベル1が15.2%、レベル0が14.0%、レベルAが18.5%、レベルBが28.8%、最も精度の低いレベルZが9.1%を占めていた。従って、精度の低いレベルA、B、Zの点を排除すると約半分の点が失われ、解析不能となる。そこでデータのフィルタリングをする必要があり、本研究では、最初にPolovina (2006)の方法を試している。この方法では、1) 1日に複数の点がある場合には、その日の代表として一番精度の高い点を用いる、2) 一番精度の高い点が複数ある場合は、ロケーションし易いと言われている正午に一番近い点を代表とする、3) 一日に1個の点しかない時には、たとえ精度の低い点であってもそれを用いる、という基準を設けている。これを今回のArgosデータに採用したところ、概ねスムーズな経路が得られたが、平均移動速度が秒速100mというようなウミガメではあり得ない結果も含まれた。そこで、申請者は、ステップ1) Zは

使用しない、ステップ2) 秒速 3m 以上というウミガメではあり得ない速度が続けて現れた場合、その原因となる点を採用しない、ステップ3) 1日に複数の点がある場合には平均の位置と時間を求めて採用する、という基準にもとづく新たなフィルタリング法を開発した。この方法を採用すると、点の分布は Polovina の方法による場合とあまりかわらないが、速度は秒速 2.5m 以下に抑えることができ、極めてスムーズな経路を描くことに成功した。これにより、Argos データの 90%以上を用いた解析が可能となり、人工衛星のデータを有効に利用する方法としての有用性は高いと思われる。

これにより、全個体の回遊経路をもとめたところ、A) 東経 150° 付近を境に、西方に戻る個体、B) 東経 150° 付近に留まる個体、C) 東経 150° を遥かに超えて東方へ進む個体、の 3 タイプに分けられ、それぞれに体サイズ(甲長)に有意差があった。沿岸に残る、あるいは戻る個体(タイプ A、B) と沖合に出ていく個体(タイプ C) 間で体サイズをロジステック回帰分析で比較したところ、前者が有意に大きく、50% ずつの確率で両方が起こる境界領域は甲長 725~783mm であった。タイプ間の行動差は特に交尾・産卵期に顕著であり、タイプ A の個体は日本の海岸付近まで戻るのに対し、タイプ C の個体の中には東経 160° を超えるものも少なくない。先行研究で、甲長 741cm を境に日本に戻る個体と遠くに離れていく個体に分かれるという報告があるが、わずか 4 個体の解析に基づく報告であり、計 30 個体の行動解析に基づく本研究がアカウミガメにおける行動の違いを初めて定量的に明らかにしたと評価できる。

申請者は、海流と回遊の関係についても詳しい解析を行っている。黒潮域の海流速度は毎秒 10~120cm であり、各アカウミガメ個体の泳ぐ速度と方向は見かけ上の動きと海流速度のベクトルから求めることができる。この解析により、以下のような結果を得ている。

1) 日本から離れていくときはいずれの個体も黒潮に乗っているが、いずれタイプ A の行動をとる個体はタイプ C の行動をとる個体よりも海流とは逆の方向に泳ごうとする頻度が高い、2) タイプ C の個体は北緯 36° 付近にある黒潮の軸に近いところに位置する傾向が強いのにに対し、タイプ A の個体は黒潮の軸よりかなり南方に位置して流されていく傾向がある、3) このためタイプ A は毎秒 40cm 程度の海流に乗っていることが多く、タイプ C の個体はそれ以上の速い海流に乗ることが多い、4) タイプ A の個体はしばしば黒潮の南部で起こる蛇行流や渦流に乗り、それらによって自然に集積するクラゲなどの浮遊生物を食している可能性が高い、5) 東経 170° 付近になると黒潮の流れが弱まり、クロロフィル量も多くなり、タイプ C の若齢成熟個体はこの付近で餌を得ている可能性が高い。これらの結果は、いずれも本研究によって得られた新しい知見であり、保全策が必要なアカウミガメの生態を理解する上で非常に貴重である。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせて、申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。