

氏名	まるていう でいあ せていやわてい Martwi Diah Setiawati
授与学位	博士(工学)
学位記番号	理工博甲第679号
学位授与年月日	平成27年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) 環境共生系専攻
学位論文題目	Applications of Multi Sensor Satellite Data and Generalized Additive Model (GAM) for Open Ocean Tuna Habitat and Precipitation Studies
論文審査委員	主査 山口大学 教授 三浦 房紀 山口大学 教授 中村 秀明 山口大学 教授 関根 雅彦 山口大学 教授 朝位 孝二 山口大学 准教授 山本 浩一 山口大学 特命教授 田中 佐

## 【学位論文内容の要旨】

Integration of time series data, multi sensor analysis and statistical models are important for accurate mapping for open ocean tuna habitat and precipitation studies. In this study, habitat characteristics of bigeye tuna were investigated as a representative for open ocean tuna habitat studies and validation and correction of Global Satellite Mapping Precipitation (GSMaP) were performed as representative for precipitation studies. Tuna habitat is an important issue to study because global tuna catches have increased steadily from a half million tonnes in 1950 to almost 4 million tonnes in 1999. In addition, validation and correction of GSMaP is necessary to study because GSMaP precipitation amount generally has been underestimated and it will cause high bias for flood forecasting. Historical data of open ocean tuna habitat and precipitation studies were derived by open access multi sensor satellite remote sensing data and were conducted in the two study areas: Southern waters off Java-Bali in Indonesia for open ocean habitat studies and Kyushu Island in Japan for precipitation studies.

The aims of this research are to introduce the simple method to analyze the relationship between bigeye tuna and environmental variable by using linear regression, to introduce Generalized Additive Model (GAM) for dealing with nonlinear data, to determine the best model for bigeye tuna habitat in the study area, to evaluate the ability of GSMaP data as satellite precipitation during rainy season and to reduce the bias of GSMaP product during heavy rainfall.

This study was divided into two main parts. First is the introduction and explanation of the analysis method, and second is the application of multi-sensor satellite data for open ocean tuna habitat and precipitation studies. In the first application for open ocean tuna habitat studies,

the simple method to analyze a relationship between environmental variables and fisheries data was introduced. Then, simple predicted map can be determined. The second application, GAM was conducted to measure the relationship between environmental variables and fisheries data and then build the habitat suitability index.

In the first application for open ocean tuna habitat studies, satellite remote sensing data of sea surface temperature (SST), sea surface chlorophyll (SSC) and sea surface height deviation (SSHD) as environmental data variables and daily fish catch data from PT Perikanan Nusantara, Bali during 2006-2010 were used. To determine the relationship between environmental variables and bigeye tuna, fisheries data classification and linear regression were conducted. The results clearly showed that SST, SSC, SSHD which derived from satellite observation, confirmed a strong relationship with the abundance of bigeye tuna. However, the parameters which give the dominant effect bigeye tuna cannot be distinguished.

In the second application, GAM as the recent development of regression model was applied. By GAM, the data did not force to be linear and parameters which give the dominant effect bigeye tuna can be distinguished. In this study, seven models were constructed from the simplest form by using only one independent variable (i.e., SST, SSC, SSHD) and combination of all the variables (i.e., SST+SSC, SST+SSHD, SSC+SSHD and SST+SSC+SSHD). Then, GAM and geographic information system (GIS) method were combined to determine the spatial distribution of bigeye tuna habitat. The results showed that SST was the most important habitat predictor for bigeye tuna migration in the Southern Waters off Java and Bali, followed by SSHD and SSC. The spatial pattern of bigeye tuna habitat characteristic gave typical low SST, negative to low SSHD and low to moderate SSC. In addition, validation of the predicted number of bigeye tuna with the observed value was significant ( $P < 0.05$ ,  $r^2 = 0.56$ ).

For precipitation studies, we evaluated and corrected GSMaP\_MVK at daily time scales with a spatial resolution of  $0.1^\circ$  latitude/longitude. The reference data came from thirty four rain gauges over Kyushu Island, Japan. This study focused on the GSMaP\_MVK ability to detect heavy rainfall pattern that may lead to flooding. Statistical analysis was used to evaluate the GSMaP\_MVK data both quantitative and qualitative. The statistical analysis included the relative bias (B), the mean error (E), the Nash-Sutcliffe ( $C_{NS}$ ), the Root Mean Square Error (RMSE) and the correlation coefficient ( $r$ ). In addition, GAM was conducted for GSMaP\_MVK data correction. The results of these analyses indicate that GSMaP\_MVK data have lower values than observed data and have serious underestimate during heavy rainfall. By applying GAM for bias correction, GSMaP\_MVK ability was improved to detect heavy rainfall. In addition, GAM for bias correction is well applied for serious underestimate of GSMaP\_MVK (i.e., bias more than 55%). Thus, GAM is a promising way to predict the rainfall amount for flood and landslide monitoring, especially in the area where rain gauge data are limited.

The advantage of this research is all the satellite remote sensing data which we used are open access and it can be applied in the developing countries. For the future research, shark habitat characteristics are necessary to study due to the highest bycatch by the tuna fishing activity. In precipitation studies, correction of GSMaP\_MVK data product is the first step to make a model for flood prediction map more accurate.

## 【論文審査結果の要旨】

本研究は複数のセンサー、多時期（数年間）にわたる全天球衛星データの適用に関する研究を行ったもので、2つの適用を試みている。1つ目の適用例は、インドネシア・ジャワ島、バリ島南岸沖のインド洋を対象に海洋環境を表す3つのパラメータ、海面温度（Sea Surface Temperature: SST）、クロロフィル濃度（Sea Surface Chlorophyll: SSC）、海面高さ（Sea Surface Height Deviation: SSHD）とその海域におけるマグロの漁獲量からその生態系を予測するもの、2つめの適用例は九州を対象に全天球降雨データ（Global Satellite Mapping Precipitation: GAMAP）による降雨量予測値と気象庁の地域気象観測システム（Automated Meteorological Data Acquisition System: AMEDAS）データとの相関を検討したものである。

いずれの全天球衛星データは無料でインターネットから取得可能で、これら衛星データの活用は海上、地上観測データの少ない発展途上国で期待されており、その期待に応えようというものである。相関性の検討に対しては Generalized Additive Model (GAM) 法を適用している。この GAM 法は複数の独立変数と目的変数の相関を求める手法で、両者が非線形の関係であっても、また独立変数の分布形が非正規分布でも相関を求めることができるという、柔軟性を持った手法である。前者の適用例に対しては、漁獲量を3ランク（漁獲量0、1~3、4以上）に分類することによって、これまで相関がみられないといわれていた海洋環境と漁獲量の相関を明らかにすることができた。これによって漁獲量の多い海面温度、クロロフィル濃度、海面高さの範囲を示すことができた。後者の応用例に対しては、GAM を適用して補正することにより GSMAP 雨量データの予測精度を改善できることを示した。本論文は2部、6章から構成されている。第1部は第1章と第2章からなりそれぞれ Introduction と用いたデータと解析手法の説明、第2部は第3章~5章の適用例と第6章の Conclusion から構成されている。各章の内容は以下の通りである。

第1章は本研究の背景、目的、論文構成の説明、研究の対象とした海域の海流などの特徴および九州の地形の特色を説明している。第2章はその前半で衛星リモートセンシングの原理、インドネシアでのマグロ漁業について、全天球衛星データである SST、SSC、SSHD の衛星データからの求め方、および GSMAP の内容とデータ取得方法の説明を、そしてその後半で GAM の内容、特長、適用方法について説明を行っている。

第3章はマグロの漁獲量を上記のように3ランクに分類し、これらのランクごとの漁獲量と SST、SSC、SSHD それぞれのパラメータとの相関を従来からの手法である線形近似法を用いて求めている。従来はこれらパラメータと漁獲量との間には相関がないと言われていたが、それぞれ相関が認められ、最も相関が高いのが SST であり、それぞれのパラメータにはマグロの生息に適切な範囲があることが明らかにされた。

第4章は SST、SSC、SSHD 単独の他に SST+SSC、SST+SSHD、SSC+SSHD、SST+SSC+SSHD なるパラメータの組み合わせの、計7つのモデルに対して相関性を GAM を用いて明らかにした。7つのモデルでは全てのパラメータの組み合わせ SST+SSC+SSHD モデルが相関が最も高いことを定量的に明らかにした。さらに地理情報システム（Geographic Information System: GIS）を用いて漁獲データ（漁獲量とその位置）と3つのパラメータの空間分布図を組み合わせ、マグロの生息分布とマグロ資源の管理の可能性について考察している。

第5章は九州を、①山岳地域（標高500m以上）とそれ以外、②九州中央を南北に走っている山脈の東側と西側に分けて GSMAP と AMEDAS データの相関を検討している。GSMAP が面情報（ $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ）であるのに対して AMEDAS はポイント情報であるので、一般的に AMEDAS データの方が大きくなることを示している。またその傾向は雨量強度が高いほど強いことも明らかにしている。また GSMAP データから AMEDAS データを予測するために GAM を用いて推定すると推定精度が上がることを示している。しかしながらそれでも GSMAP の予測値は AMEDAS よりも低く、その程度は標高による地域分類、中央山脈の東西による地域分類で統一的な傾向が見られず、引き続き検討が必要なことを報告している。

公聴会には国内外、学内外から35名の参加があった。公聴会での主な質問は、①GAMに関して、他の統計解析法と比較して、この手法の Generalized および Additive の意味を含めた特色に関して、②マグロの漁獲量に及ぼす3つの海洋環境パラメータの影響を GAM で近似するときの条件に関して、③降雨量予測に対してここでは一次近似式を使っているが GAM と言えるのか、という GAM の適用性に関して、など GAM に関する本質的な質問、さらには④九州における降雨特性、⑤GAM を適用してもなお AMEDAS データと GSMAP の補正值には差があるが、その理由に関するものなどであった。

いずれの質問に対しても発表者からは適切な回答が行われた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する回答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである（関連論文3編、参考論文0編）。

I. 国際ジャーナル：1編

- ① Martiwi Diah Setiawati, Abu Bakar Sambah, Fusanori Miura, Tasuku Tanaka, and Abd. Rahman As-syakur, Characterization of bigeye tuna habitat in the Southern Waters off Java-Bali using remote sensing data. *Advance in Space Research*, 55 (2), pp. 732-746, 2015.

II. 査読付き国際会議のプロシーディングス：2編

- ① Martiwi Diah Setiawati and Fusanori Miura, Sea Surface Temperature and Sea Surface Chlorophyll in Relation to Bigeye Tuna Fishery in the Southern Waters off Java and Bali. *Proceeding of The 12th Pacific Ocean Remote Sensing Conference PORSEC (PORSEC)*, pp. 1-11, 2014.
- ② Martiwi Diah Setiawati, Fusanori Miura and Putu Aryastana, Verification of Hourly GSMaP Rainfall Estimates During The Flood Events in Kumamoto Prefecture, Japan, *Proceeding of The 34 Asian Conference on Remote Sensing*, 1(5), pp. 3542-3549, 2013.