

# **Global-scale Modeling of Agricultural Land-use Change by Linking Biophysical and Socio-economic Aspects**

## **(和訳) 生態環境および社会経済要素の統合に基づいた全球 農業土地利用変化のモデリング**

氏名   ウ   ウエン   ビン  
          吳   文   斌

Agricultural land use dominates about 40% of the planet's ice-free land surface. Changes in agricultural land use and management are very important among the globally significant processes in land-use changes as they affect not only the states, properties and functions of ecosystems but also the socio-economic development and sustainability. Decision-makers and scientists have thus identified the need to explore potential changes in agricultural land use and their associated impacts on environment, landscapes and rural livelihoods at different time, regions and scales. The objective of this thesis is to develop an agricultural land-use change model by combining the essential biophysical and economic aspects of agricultural land use within its land-use decision algorithm, to simulate past and future dynamic changes in sown areas for four major crops at a global scale.

The thesis was structured along the development and application stages of the integrated global-scale model of agricultural land-use changes. Chapter 1 introduced the background of this study, which includes a detailed literature reviews on land-use change models, the statement of the research problems, the objectives and the organization of this dissertation.

Chapter 2 presented a validation and comparison study for the four satellite-derived 1 km global cropland datasets (UMD, IGBP-DISCover, MODIS and GLC2000) in China so as to examine the suitability and (dis)similarity of different global-scale, coarse spatial resolution datasets for their accuracies in cropland mapping. In doing so, four global cropland products were first compared with the NLCD-2000 at three scales to evaluate the accuracies of estimates for aggregated cropland area. This was followed by two kinds of spatial comparison to assess the accuracies of the four products in

estimating the spatial distribution of cropland across China. The comparative analysis shows that there are varying levels of apparent discrepancies in estimating the cropland of China between these four global cropland datasets, and that both area totals and spatial (dis)agreement between them vary from region to region. Among these, the MODIS dataset has the best fit in depicting China's croplands. The coarse spatial resolution and the per pixel classification approach, as well as landscape heterogeneity, are the main reasons for the large discrepancies between the tested global cropland datasets and the reference data.

Analyzing crop choice decision making requires knowledge of what will possibly be chosen by land users in their decision making. In Chapter 3, both climate-based and satellite-based approaches were used to produce a new dataset of global cropping systems. The climatic model is to assess the potential of land surface for various cropping patterns under a certain climatic condition, while remote sensing approach is to discriminate the real status of cropping systems over large regions under current climatic and management environment. Through comparing these two datasets of global cropping systems separately derived from climatic model and remote sensing data, it is possible to validate and evaluate the accuracy of climate-based method in mapping the spatial distribution of global cropping systems. In addition, by matching the potential and actual cropping systems, it is also able to understand the quantity of land actually used for different cropping systems and to assess how much surplus of croplands currently available for shift in cropping systems by human being in the future.

The development of the global-scale agricultural land-use change model was described in Chapter 4. The general hypothesis of this modeling approach is that the sown area of particular crops is directly linked with human decisions on crop choices for their farmland. This assumption was implemented under the framework of AiC; and the modeling approach followed an integrated structure and was constructed based on four core models. The crop choice decision model, a Multinomial Logit model was used to model the crop choice decisions among a variety of available alternatives by using a crop utility function. A crop yield model, the GIS-based EPIC model was adopted to estimate the potential yields of different crop types under a given biophysical and agricultural management environment. A crop price model, the IFPSIM model was utilized to evaluate the price of the test crops in the international market. An urban expansion model was constructed to examine the characteristics of urban land expansion and the consequent cropland loss, and to dynamically update the total percentage of land available for agricultural land use. The crop choice decision model is the main mechanism determining changes in crop sown areas and it is affected by the crop yield and crop price models, which directly determine the crop utilities or profits, as well as by the global cropping systems and the urban expansion model, which provide different crop choice sets to decision-makers or affect the allocation of crop choices. These models were seamlessly linked

through data flow and exchange between them, and the dynamic feedback loop between agricultural land-use change and biophysical and socio-economic driving factors was studied. Sensitivity analysis and empirical validation were conducted for the model after its construction, which indicated that the integrated model is reliable for addressing the complicated dynamic changes in agricultural land use at present and that it has the capacity to be used for investigating long-term scenarios and applications in the future.

Chapter 5 demonstrated the potential uses of the modeling approach constructed in Chapter 4 for assessing possible future changes in the sown areas of major crops under a given scenario condition at a global scale. The model application was designed to run over a period of approximately 20 years, starting with the year 2000, and to analyze potential changes in sown areas for four major crops. This objective was implemented by using a scenario-based modeling framework, under which the socio-economic and climate change scenarios were developed and parameterized. A change in these future scenarios may drive changes in crop price, crop yield, urban expansion and/or cropping systems, resulting in further changes in crop choice decisions and thus changes in crop sown areas over time and space. Based on the simulation results, we attempted to assess the global food security by combining the social, economic and biophysical factors.

Finally, Chapter 6 summarized, concluded and outlined the areas that warrant further research. This agricultural land-use change model is characterized by its modeling scale, modeling object and modeling approach. The simulation results can help explore what might happen given certain assumptions about societal development and environmental changes and provide support for land-use planning and policy making. This model also contains some uncertainties and limitations, improved datasets, improved methods and better knowledge for land-use change modeling are needed, which remains a considerable challenge for future land-use change models.

## 概要

地球システムは人間活動が環境に影響を与える人間・環境システムであり、そのうち陸地における「土地利用」は人間と環境の関係で重要なつながりである。人間が土地を利用するために自然を改変し、地表の大部分を改変してきた。農地は氷河を除く陸地の40%を占めており、生態系のみならず経済発展や持続可能性に影響を与えているため、土地利用のうちでも農地の変化は非常に重要である。そのため今までに様々な時間スケール、地域における農地利用の潜在的变化とそれによる環境、景観、農家の家計への影響についての研究が行われ、その重要性が言及されている。本論文の目的は4つの主要穀物を対象として、穀物生産における必要不可欠な生態環境、社会経済要素を含んだ土地利用モデルの構築と、それを用いた過去、および将来の土地利用変化をシミュレートすることにある。

本論文では主要4穀物に関して全球レベルでの農業土地利用モデルの構築とその利用について述べる。第1章では研究の背景、既存の土地利用・土地利用変化モデルに関する文献レビューを行い、それをうけて本論文での課題、目的について示す。

第2章では中国を対象として4つの解像度1 kmの全球耕地分布データセット(UMD, IGBP-DISCover, MODIS, GLC2000)の精度検証と比較を述べる。まず耕地分布の精度を評価するために、前述の4つのデータセットと中国のみを対象とするNLCD-2000(National Land Cover Dataset 2000)とを省・地域・中国全体の3つのスケールで集計し、耕地面積の比較を行った。次に分布について4つのデータセットについてピクセルごとの一致性を評価し、地域・国単位で比較した。これらの比較によってデータの整合性を検証した結果、中国の耕地をもっとも的確に表現しているのはMODISであることが示された。不一致が生じる理由として、地表面が必ずしも均一ではなく、基準となる耕地分布データの解像度がそれほど高くないうえ、それぞれのデータを作成する際の土地被覆分類の仕方が異なることがあげられる。

穀物の作付けを分析するためには農民がどのような要因によってその決定を行っているかが重要である。第3章では気候データと衛星データを用いて、単作、多毛作についての作付けパターンの分布について述べる。気候データによってその気象条件に適した潜在的な作付けパターンを計算し、リモートセンシングによる衛星データによって実際の作付けを推計する。気候条件だけでなく、衛星データとの比較を行うことによって、全球でのデータセットを気候条件により作成するために必要となる精度の検証を行った。さらに実測値との組み合わせることで、現在どの程度利用されているか、将来の利用可能な耕地がどのくらいあるかを算定した。

第4章では農業土地利用モデルについて述べる。このモデルにおける基本的な概念は、作付けの選択は人間の意志決定に起因しているものであり、AiC(Action-in-Context)を基とし

ている。以下の4つのモデルを組み合わせた農地利用モデルを構築する。単位収量モデルであるGIS-based EPIC(Environmental Policy Integrated Climate)では生態環境・農業管理などの条件を所与として単位あたりの収量が計算される。穀物価格はIFPSIM(International Food Policy and Agricultural Simulation)により国際市場での需給均衡を通じて計算される。都市拡大モデルでは都市の拡大に伴う農地の減少を推計し、将来の農地としての利用可能な割合が変化する仕組みとなっている。もっとも重要である作付け選択モデルは、各グリッドにおける穀物の選択がいくつかの選択肢の中から穀物の価格、作付けパターン、都市拡大の要因によって適切な穀物を選ぶ/何も作付けしないを決める仕組みとなっている。これら4つのモデルはデータの受け渡しによって結びついており、その結果農地利用と生態環境・社会経済要因とのフィードバックが行われている。また、モデル構築後に感度分析と現在の農地利用との比較による精度検証を行うことにより、モデルの信頼性を検証し、将来予測を行うに当たって支障がないことを確認した。

第5章では第4章で構築されたモデル手法を用いて特定のシナリオのもとでの耕地の変化を、2000年を基準として2020年までの期間を計算した。各シナリオによって生態環境・社会経済の外生要因が異なるため、穀物価格や単位収量、都市拡大、作付け、耕地の変化などの計算結果に違いが生じる。それらの予測結果に基づき、所与となる要因から考えられる将来の世界食料保障の推計を試みた。

最後に、第6章では今後の課題について述べる。本論文での農業土地利用モデルはスケール、目的、アプローチによって特徴付けられており予測結果から経済発展や環境の変化に対して将来どのような影響があるかを算定することにより、土地利用計画や政策立案の役立つと考えられる。しかし、この土地利用モデルはまだ不明確な点や限界を抱えており、データや手法の改良など課題が残されている。