

## 審査の結果の要旨

氏名 陳虹諺

本論文は、生物群集の多様性、土壌の肥沃度、食品の安全性の評価の問題を取り上げ、統計的モデリングを通して分析対象への理解を深める試みを提案したものである。生物群集の多様性を評価する際には、比較可能性が問題となる。野外での調査では抽出率をコントロールすることは難しい。従って多様性の尺度としては、抽出率が異なる標本であっても、時系列的な比較や環境間での比較が可能であることが求められる。土壌の品質は種々の生物特性、物理特性、化学特性が複雑に相互作用して決まり、これらを総合して肥沃度を定量化するのは必ずしも容易ではない。均質な成分を持つ薬剤に対して食品成分は遺伝要因や環境要因により多様に分布するため、食品の安全性の評価においては、新規食品の成分量の分布が既存食品の分布に照らして異常値とみなされる領域を含んでいないか、調べる必要がある。このように、これらの問題はいずれも定量化が難しく、農学研究において新たな分析手法の開発が求められていると言える。

### 1 生物群集の分子系統的歪み

生物群集の多様性を表現する鍵要素は、種数と種組成であるが、ここでは種組成に焦点をあてる。近年、分子系統樹の情報を取り入れた多様性の尺度が少なからず提案されているが、本論文では、開発環境前の群集など、対象となる群集の構成種を含む種プールを構成し、分岐年代の分布を比較する。対象となる群集を構成種の間に分岐年代の分布は、一般に種プールの分岐年代の分布に比して古い方に歪む傾向がある。そこで、構成種が種プールからの無作為標本とみなされる場合に比して歪みの大きさを相対化することにより、種組成の分子系統的歪みの大きさを表す尺度を提案した。分子系統樹上いくつかのクラスターに偏る群集は大きな値をもち、逆に種々のクラスターにわたって万遍なく存在する群集は小さな値を持つ。シミュレーションにより、既存の尺度とは異なり、提案された尺度は種数の大きさによらないこと、種組成の系統的歪みのパターンをよく反映することが確認された。台湾北部の原子力発電所において30年にわたり継続的に調査された魚群集標本からは、種数の直線的な減少が観察されたが、これに伴い分子系統的歪みが増大していることがわかった。夏季における優占種が近年見られなくなっていることから、温暖化の影響が示唆された。また、世界中の海域におけるサメの

種組成を納めたデータベースからは、赤道海域で特異的に大きな系統的歪みが観察された。そこで種組成を詳細に調べたところ、太平洋、大西洋、インド洋の広範にわたり共通して、メジロザメ科 (Carcharhinidae)、シュモクザメ科 (Sphyrnidae)、ジンベイザメ (Rhincodon typus) が生息していることがわかった。

## 2 作物収量-肥沃度モデルに基づく土壌肥沃度と処理効果のベイズ推定

土壌の肥沃化のプロセスと施肥の効果を推定するために、多水準の施肥と作物収量の長期時系列データを統合分析する作物収量-肥沃度モデルを開発した。このモデルは Michaelis-Menten 式を拡張した形をしており、ベースライン肥沃度、化学肥料の投入、堆肥の投入の 3 要素を合計した土壌栄養の総体が作物の収量に関連する。ベースライン肥沃度には滑らかな時間変動を事前分布として導入した。西東京キャンパスで長期にわたり実施された土壌肥沃化試験によるトウモロコシ、オオムギ、ダイズの収量と施肥の記録に基づき、化学肥料と堆肥の収量増加への効果をベイズ推定した。その結果、化学肥料はオオムギの収量増加に最も貢献し、堆肥はダイズの収量増加に最も貢献することがわかった。肥沃化試験開始時では、トウモロコシとオオムギに関しては土壌のベースライン肥沃度は非常に低かったが、ダイズに関しては最大可能収量の半分程度をもたらす肥沃度があったことがわかった。

## 3 許容区間の包含に関する仮説検定

新薬の評価は、既発の薬剤と対比して平均値の非劣性を統計的に検定する。これに対して食品においては、日常の食生活を通して安全性が確認されている対照群において、成分が高度に多様である。そこで、許容区間に基づく評価・検定手法を考案した。許容区間は分布の範囲を特徴づける量で、たとえば 95% 許容区間は全体の 95% をカバーする主領域を表す。母集団からの標本に基づき、許容区間を統計的に推定する。従来の推定量は被覆確率が決められた値以上であることを保証するが、被覆確率が決められた値以下であることを保証する相補的な推定量を定義し、新規食品の成分の許容区間が対照群の成分の許容区間に実質的に包含されることを統計的に検定する方法を提案した。正規母集団からの独立な標本、および遺伝・環境の変量効果を持つ野外試験データを模したシミュレーションにより、新たに導入された許容区間の推定量が確かに従来の推定量と相補的な役割を果たすこと、提案された許容区間に基づく同等性検定の方法が望ましい性質を持つことが確かめられた。また、提案された検定枠組みに基づき、日本各地におけるイネの成分を納めたデータベースを分析し、九州におけるイネのタンパク質含量の分布を他地域のそれと比較した。

これらの研究成果は、学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。