

題 目 ゴルトン問題へのベイズ統計とモデル比較の観点からのアプローチ—環境の厳しさと規範の厳格さを事例とした検討—

氏 名 行平 大樹

指導教員 竹澤正哲

人間の心や行動の特性に顕著な文化差があることが指摘されてきた。それらの文化差を生み出す要因を明らかにするため、人類学や地理学といった分野では、主に各文化が置かれた社会環境及び自然環境の特性によって文化差を説明するアプローチを用いた研究が多くなされてきた。同様のアプローチは進化心理学や文化心理学における研究でも用いられてきた。このようなアプローチを採用した研究の多くは、国などの文化的集団を単位として、環境要因と文化差との関連を相関分析によって検討してきた。しかし、文化的集団を単位とした分析にはゴルトン問題という問題が生じる可能性が指摘されてきた。ゴルトン問題とは、国などの文化的集団は、系統的・空間的近接性のために互いに相関（自己相関）しており、統計的独立性の仮定が満たされないという問題である。ゴルトン問題が生じている場合、通常の統計的独立性を仮定した分析を行うとサンプルサイズが過大評価され偽陽性の可能性が高まってしまう。実際、先行研究において報告された環境要因と文化差との関連が、自己相関を統制することで消失したという結果も報告されている。環境要因と文化差との関連を正確に推定するためにはゴルトン問題に対処する必要がある。

ゴルトン問題への対処法として複数のアプローチが用いられてきた。まず、文化的に類似していると考えられる国などの集団をいくつかのグループに分類して各グループの平均値をデータとして用いる方法が一部の先行研究では用いられてきたが、この方法ではサンプルサイズが小さくなるために推定の不確実性が増してしまう。人類学では、文化間の系統関係を推定したうえで自己相関を統制する系統学的手法が多く用いられてきた。しかし、文化間の系統関係に関する直接的な情報は多くの場合入手できない。そのような場合、集団間の言語距離や地理的距離などの系統関係を反映していると考えられる距離行列を用いて自己相関を統制する手法が用いられてきた。だが、いずれの距離が文化間の系統関係をより正確に反映しているのかは自明ではない。その他にも、文化的に影響しあっていると予想される複数の国のクラスタをランダム効果として階層ベイズモデルなどによって分析する手法が

用いられてきた。しかし、国のクラスタへの分類としてどのようなものが適切かは自明ではない。このようにゴルトン問題への対処法としていずれの手法が適切かは明らかではない。にもかかわらず、先行研究では単一の手法が用いられるだけで、手法によって推定結果が異なる可能性の検討などは行われてこなかった。

そこで本研究は、階層ベイズモデルとガウス過程回帰という異なる統制手法を用いて生態学的環境の厳しさと社会規範の厳格さの関係を見出した Gelfand et al. (2011) のデータを再分析し、環境の厳しさと規範の厳格さの関係を事例としてゴルトン問題について検討した。具体的には、環境の厳しさを表す 15 個の説明変数ごとに、自己相関を統制していない線形回帰モデル、国間のクラスタリングという事前情報を与えた階層ベイズモデル、遺伝的距離と地理的距離による国間の相関という事前情報を与えたガウス過程回帰の 3 つのモデルにおける推定結果を比較し、環境の厳しさが規範の厳格さに及ぼす効果が偽陽性である可能性を検討した。その結果、線形回帰モデルとガウス過程回帰では環境の厳しさの効果に違いは現れなかったが、階層ベイズモデルでは効果が弱くなる傾向が示された。いずれのモデルが Gelfand らのデータにおける自己相関を正確に反映しているかを検討するため、ベイズ自由エネルギーによるモデル比較を行った。その結果、階層ベイズモデルが 14 個の変数で自己相関をより正確に反映しているという結果が得られた。階層ベイズモデルにおいて効果が弱くなる傾向がみられたこととベイズ自由エネルギーによるモデル比較の結果から、Gelfand らが見出した環境の厳しさと規範の厳格さの関係は偽陽性である可能性が拭えない。また階層ベイズモデルにおいて効果が残った変数についても、推定結果がオーバーフィッティングによって生じた可能性を、WAIC を基準として変数の効果を含むモデルと変数の効果を含まない帰無モデルとの比較によって検討した。その結果、階層ベイズモデルにおいて効果が残った変数は予測力の向上に寄与しなかったことから、自己相関の統制後も残った効果はデータへのオーバーフィッティングによって生じた可能性を拭えない。

本研究の結果は、先行研究において多く用いられてきた距離行列の統制という手法が常にゴルトン問題への対処法として適切であるとは限らない可能性を示唆している。自己相関を統制するための情報が不足している場合や、サンプルサイズが小さいといったデータの制約がある場合においては、本研究のアプローチのように複数の手法を利用してモデル比較の観点から結論を下すことでより有効にゴルトン問題に対処することができる可能性がある。本研究の結果は、ベイズ統計とモデル比較という視点からゴルトン問題に対処するという新しいアプローチの可能性を示唆するものである。