

論文の内容の要旨

論文題目 Bayesian approach for detecting concealed information
with autonomic responses
(自律系指標による隠匿情報検出へのベイズ的アプローチ)

氏名 松田 いづみ

背景

心の状態を生理反応から推し量ろうとする試みは古くから行われてきた。特に、真実を述べているか分からない人を対象とする犯罪捜査において、このような方法の需要は高く、多くの研究が行われてきた。その中で、心理学的実験手法に則った方法として隠匿情報検査が提案されている。隠匿情報検査では、事件事実と関連する質問（裁決質問）と、それと意味的に類似するが事件とは無関係な質問（非裁決質問）が呈示される。検査中は、質問に対する自律神経系反応（心拍数・皮膚電気活動など）が測定される。裁決質問に対して非裁決質問とは異なる自律神経系反応が生じた場合、被検査者は事件事実を知っていると推定する。自律神経系反応に違いがなければ、被検査者は事件事実を知らないとして推定する。隠匿情報検査は、日本の警察において年間約 5,000 件実施され、犯罪捜査に活用されている。

隠匿情報検査の要は、裁決・非裁決質問に対する自律神経系反応の違いがあるか否かを正確に判定することである。この判定を客観的に行う方法として、統計的判定法が提案されてきた。しかし従来の統計的判定法には、自律神経系反応の個人差が適切に考慮されていないという重大な問題点がある。本研究は個人差の問題を考慮した新たな統計的判定法を提案し、実験データにより精度を検証することを目的とした。

研究 1

隠匿情報検査に対する統計的判定法として、判別分析やロジスティック回帰分析を用いた方法が提案されてきた。これらは、既に犯人か無実かが分かっている多くの被検査者のデータ（以下データベース）から各被検査者の認識の有無を正しく判定できる判定式を推定し、それを新たに取得した被検査者のデータに適用して判定を行うものである。しかし、これらの方法の正判定率は十分に高くない。この原因として、自律神経系反応の個人差が考えられる。質問を受けてから自律神経系反応の発現に至るまでに、中枢・末梢器官のそれぞれのレベルで個人差が生じる。従って、同じように裁決質問に関して認識があったとしても、観測される自律神経系反応は個人によって異なる。例えば、裁決質問に対して心拍数に大きな反応を示す人もいれば、皮膚電気活動に大きな反応を示す人もいる。全ての被検査者に同一の判定式を適用する方法は、個人差が大きい自律神経系反応データには不適切である。

そこで研究 1 では、個人の反応傾向を考慮して判定を行う**潜在クラス的判定法**を提案した。まず、データベースの被検査者の反応を、その反応傾向に基づき 4 つの分布（反応クラス）に分類し、各反応クラスに属する被検査者の反応を正しく判定するのに最適な判定式を学習させる。新たな被検査者の判定を行う場合（図 1）、事前に行われる予備検査での反応に基づき、被検査者が各反応クラスに属する程度を求める。被検査者の本検査でのデータに対して各反応クラスにおける判定式を適用する。各反応クラスにおける判定式の結果をそのクラスに属する程度で重みづけし、全クラスで加算した値に基づき判定を行う。潜在クラス的判定法は、各被検査者の反応傾向に適した判定式による結果を重視することで、判定において個人差を考慮する方法だといえる。

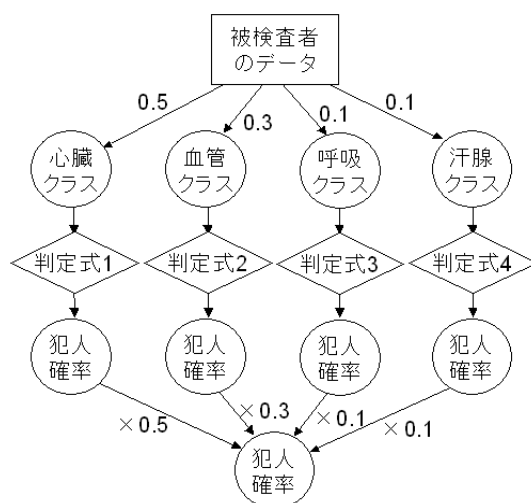


図 1 潜在クラス的判定法による判定プロセス

【データ】成人 34 名（犯人群 19 名，無実群 15 名）のデータを取得した。犯人群のみ，5 種類のアクセサリーのうち 1 つを選ばせ模擬的に盗ませた。両群の参加者に対し隠匿情報検査が実施された。模擬窃盗に関する検査の前に予備検査が行われた。これは，参加者に 5 種類の数字から 1 つの数字を選ばせ，選んだ数字についての質問を呈示する検査であった。模擬窃盗に関する検査では，盗まれたアクセサリーについての質問が呈示された。自律神経系指標として心拍数，収縮期血圧，拡張期血圧，皮膚血流量，皮膚コンダクタンス水準，皮膚コンダクタンス反応，呼吸周期，呼吸振幅が測定された。

【分析】モデルのパラメータの推定には一般的に最尤推定法が用いられる。しかし，潜在クラスモデルのような混合分布モデルのパラメータは，最尤推定法での推定が難しいことが指摘されている。本研究では，ベイズ的にモデルを記述することにより，ベイズ的推定法の一つである Gibbs sampler を用いて潜在クラスのパラメータを学習させた。学習データは全参加者の予備検査における反応とした。学習されたパラメータを用いて各参加者の模擬窃盗に関する検査での反応データを判定した。

【結果】潜在クラス判別法と従来の判別法で判定成績を比較したところ，潜在クラス判別法の判定成績が高いことが確認された（表 1）。

表 1 潜在クラス判別法，判別分析法，ロジスティック回帰法による正判定率

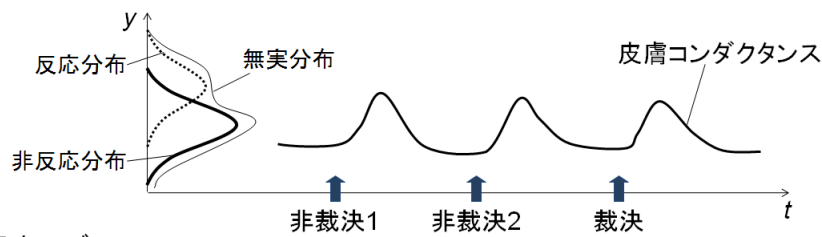
	人数	潜在クラス判別法	判別分析法	ロジスティック回帰法
犯人群	19	.842	.737	.737
無実群	15	.867	.733	.733
全体	34	.853	.735	.735

研究 2

自律神経系反応の個人差の問題を解決するための別のアプローチとして、個人のデータのみを分析対象とする方法が考えられる。Adachi(1995)は被検査者個人のデータから認識の有無を判定する方法を考案した。被検査者の裁決・非裁決質問に対する反応について、両者が同一の分布に属する（裁決・非裁決質問に対する反応に違いがない）とする無実モデルと、異なる分布に属する（裁決・非裁決質問に対する反応に違いがある）とする犯人モデルを適用する。無実モデル・犯人モデルのうち、データへの当てはまりがよいモデルを採択する。この方法では個人のデータにおける裁決・非裁決質問への反応の違いのみに基づいて判定が行われるため、自律神経系反応の個人差は問題にならない。しかし、隠匿情報検査では測定されるデータのサンプル数が少ないため(3-5程度)、分布のパラメータの推定値が安定せず、結果として正しい判定ができないことがある。

この問題点を克服するため、自律神経系反応の時系列データを利用した判定法を考案した。無実の被検査者の反応時系列は、質問に対して反応が生起し、しばらくして元の状態に回復することを繰り返す(図 2a 時系列データ)。裁決質問であっても非裁決質問であっても生じる反応に違いはない。しかし、もし犯人であれば、裁決質問に対する反応と非裁決質問に対する反応に違いが生じる(図 2b 時系列データ)。つまり、無実の被検査者の反応時系列は、裁決・非裁決両質問に対する反応状態を表す分布(図 2a 点線の分布)と、反応が生じていない状態を表す分布(図 2a 太線の分布)の2つの分布の混合として表現される(無実分布, 図 2a 実線の分布)。犯人の被検査者の反応時系列は、裁決質問に対する反応状態を表す分布(図 2b 破線の分布)、非裁決質問に対する反応状態を表す分布(図 2b 点線の分布)、反応が生じていない状態を表す分布(図 2b 太線の分布)という3つの分布の混合として表現される(犯人分布, 図 2b 実線の分布)。従って、被検査者の反応時系列が2つの分布で構成されていたら無実、3つの分布で構成されていたら犯人と判定することが可能である。研究 2 では、「時系列データは3つの分布から構成される」とする犯人モデルと、「2つの分布から構成される」とする無実モデルを隠れマルコフモデルにより構築し、各被検査者の反応時系列データにより適したモデルを採択するという**隠れマルコフ的判定法**を提案した。隠れマルコフ的判定法は、Adachi(1995)の方法と違い時系列データを用いるので、個人のデータのみしか用いなくても十分なサンプル数が確保できるという利点がある。

(a) 無実モデル



(b) 犯人モデル

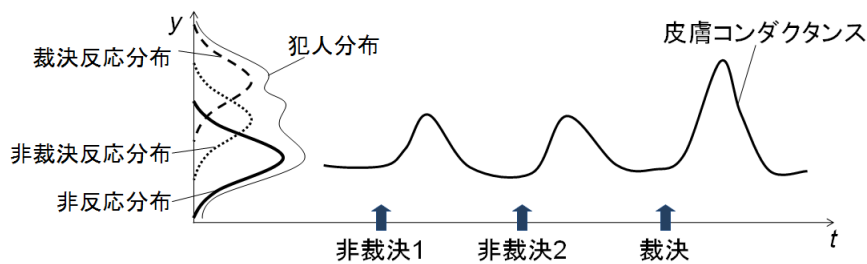


図2 隠れマルコフ的判定法における無実モデルと犯人モデル

【データ】 研究1と同じ実験参加者の、模擬窃盗検査での反応データを用いた。自律神経系指標として実際の検査現場で測定される心拍数、規準化脈波容積、皮膚コンダクタンス水準、呼吸周期、呼吸振幅を使用した。

【分析】 各参加者の時系列データに対して犯人・無実モデルを適用した。モデルはベイズ的に記述され、パラメータは Gibbs sampler により推定された。

【結果】 隠れマルコフ的判定法と Adachi による個体内判定法において判定成績を比較したところ、隠れマルコフ的判定法の判定成績がより高いことが確認された (表2)

表2 隠れマルコフ的判定法、Adachi(1995)の個体内判定法による正判定率

	人数	隠れマルコフ的判定法	個体内判定法
犯人群	19	.842	.632
無実群	15	.800	.733
全体	34	.824	.676

研究 3

新たな実験参加者 27 名のデータを用いて、潜在クラスの判定法と隠れマルコフ的判定法の検証を行った。両手法とも既存の手法よりも高い判定成績を示すことが再度確認された。判定失敗事例を観察したところ、潜在クラスの判定法は、予備検査における反応傾向や一般的な反応傾向とは異なる反応を示す参加者に対して誤った判定を行っていた。一方隠れマルコフ的判定法は、一般的な反応傾向とは関係なく裁決・非裁決質問間の反応差があると陽性と判定していた。このように二つの提案手法はそれぞれ異なる特性を持つ。しかし、実務的な観点に基づくと、データベースを必要としない隠れマルコフ的判定法の方がより優れていると考えられる。

考察

提案した潜在クラスの判定法・隠れマルコフ的判定法は従来の統計的判定法と比較して高い判定成績を示した。これは、統計的判定法において自律神経系反応の個人差を適切に考慮したためと考えられる。両提案手法は、データをいくつかの単純な分布に分解して個人差を表現するという混合分布モデルの考えに基づいている。従来混合分布モデルのパラメータ推定は難しいとされてきたが、本研究ではベイズ的に混合分布モデルを構築し、ベイズ的パラメータ推定法を用いることにより、混合分布モデルに基づく判定を実現した。

質問に対する認識が自律神経系反応として出現する過程でさまざまな要因による影響を受けるため、生起する自律神経系反応には大きな個人差が生じる。隠匿情報検査では、その個人差を含む反応データから認識を推定しなければならない。本研究は、ベイズ的混合分布モデルを利用して自律神経系反応の個人差を考慮することにより、自律神経系反応から認識という心的状態をより正確に推定できることを示した。