

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H03993

研究課題名（和文）統合解析による新物理の高精度探索

研究課題名（英文）Search for New Physics by Global Analysis

研究代表者

伊藤 領介（Itoh, Ryosuke）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：90193531

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は様々な個別の素粒子実験における新物理の探索結果を統合し同時に解析を行うことで、新物理の探索感度を上げることを目標としていた。そのために多変量解析の手法を導入した。種々の新物理モデルからモンテカルロ法を用いて生成した多様な個々の実験の情報を、検出器シミュレーションを通して新物理モデルの実際の測定結果として入力に用いて、多変量解析モデルに学習させた。実際の測定結果を学習させたモデルに入力し、回帰分析によりモデルのパラメータを推定し新物理を探索する、というフレームワークを開発した。しかしこの技法を実際に適用すると推定パラメータにバイアスが生じ、その解決のためにさらに研究を続けている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

素粒子実験における新物理探索において、個別の実験による探索だけでは十分な精度が得られないが、統合解析を行うことにより、より体系化した新物理探索を精度よく行うことが可能になる。従来は最小二乗法などの古典的な手法により行われてきたが、最新の多変量解析を導入することにより、個々の実験のより詳細な測定結果を正確に反映させることが可能になり、また学習により新物理モデルを柔軟に解析に使用できるようになった。完全に動作させることができれば、新物理探索を広範囲の異なる実験結果を用いて効率的に行うことができるようになり、大きなインパクトがある。

研究成果の概要（英文）：The original purpose of this research is to improve the sensitivity to New Physics by combining search results by various different particle experiments and performing the simultaneous unified analysis. The technique of multi-variate analysis is introduced for the unified analysis. With different kinds of New Physics Models implemented in the Monte Carlo simulation, various pseudo measurement results by different experiments are generated after the detector simulation and fed into the the multi-variate analysis for the model-learning. The actual measurements are then fed into the trained model and the parameters in the New Physics models are obtained by the regression analysis. The framework to perform the whole chain of this analysis is developed. However, when applying this method to the actual measurements, it is found that some bias in the estimated parameters is observed, and the further study is still on-going.

研究分野：素粒子実験

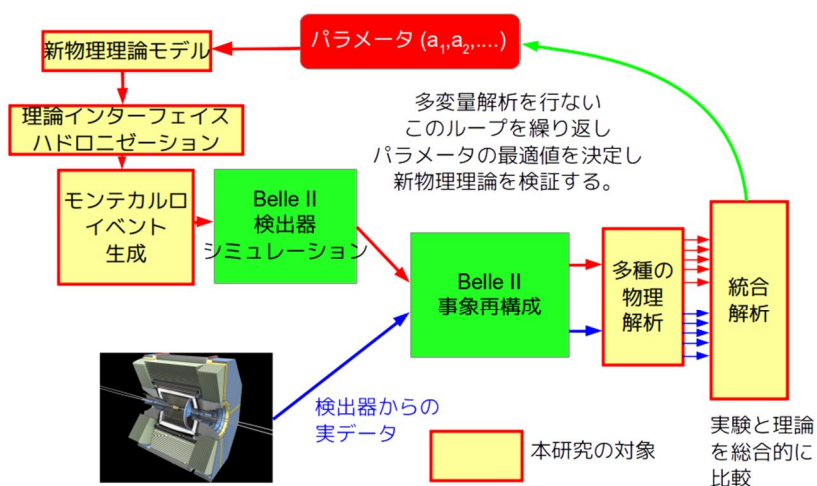
キーワード：素粒子実験 統合解析 多変量解析

## 1. 研究開始当初の背景

従来の新物理の探索は、感度の高い一つの素粒子反応「ゴールデンモード」に着目し、その測定値に対するスタンダードモデルの予言値からのずれを観測することにより行われていた。しかしこの方法には2つの問題がある。一つは新物理に感度の高い素粒子反応が起こる確率は非常に低いと予想され、ずれを検出するのに十分な統計を得るのが難しいことである。他方はスタンダードモデルの予言を得る際に、低エネルギーで起こるハドロン化の過程に特定の現象論に依存せざるを得ず、無視できない理論的不定性が存在することである。よってゴールデンモードのみを用いた新物理の探同じ起源を持つ新物理が影響を与える異なる観測を組み合わせ、それぞれのスタンダードモデルの予言値からのずれを統合して調べることが出来れば、新物理探索の感度を劇的に上げることが出来る。複数の観測を同時に使用することで、探索に使用できる反応の統計量を実質的に増加させることができるし、異種の測定を組み合わせることで現象論モデルへの依存を少なくすることが出来るからである。このような統合解析の手法の開発が望まれていた。

## 2. 研究の目的

効率的な統合解析を行うためのフレームワークの開発が本研究の主目的である。統合解析を行うために、新物理理論を共通のインターフェイスを介してモンテカルロシミュレーションに組み込み実験の測定値と比較して、理論パラメータの最適値を求めて新物理の存在を探索する新しい統合解析の手法を研究する。効率的なパラメータスキャンのために多変量解析手法(Multi Variate Analysis)を用いる。この手法は、種々のデータの分布を記述するパラメータを決定する新しい統計的手法であり、近年の計算能力の向上により初めて実現が可能となった。最終的にパラメータをスキャンしてイベント発生、検出器シミュレーションを通した物理解析、多変量解析によるパラメータの決定までを自動的に行うことができるフレームワークを構築する。



### 3. 研究の方法

新しい統合解析フレームワークの開発を中心に進めていく。フレームワークは

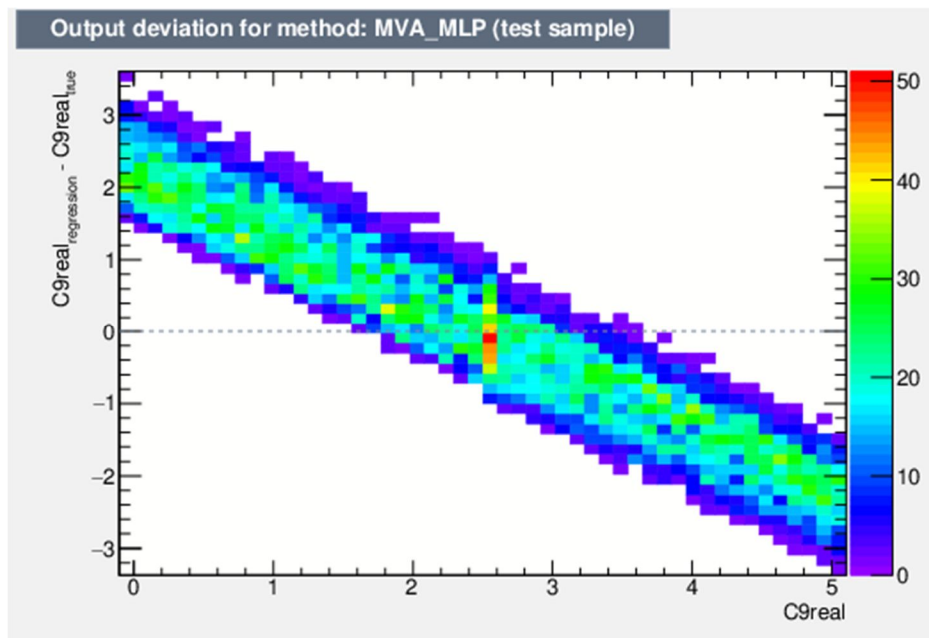
- 1) 新物理の理論を共通の少ないパラメータで表現する理論インターフェイス、
  - 2) 理論インターフェイスのイベントジェネレーターへの組み込み、
  - 3) イベントジェネレーターと各実験のシミュレーション、物理解析を組み合わせ、パラメータに対する理論の予言値を得る、
  - 4) パラメーターをスキャンし実験の測定結果と比較して 3) を繰り返し、最適なパラメータの値を求める多変量解析、
- の4つのコンポーネントから構成される。これらを順次開発する。その構成を図に示す。

開発終了後、実際の種々の実験データを多変量解析に入力し、新物理モデルのパラメータを回帰解析によりもとめることで、新物理の探索を行う予定であった。

### 4. 研究成果

多変量解析を用いた統合解析フレームワークの開発は一通り完了し、Belle II 実験における B 中間子の  $K^*$  と 2 つのレプトンへの崩壊過程の中での新物理探索を例として実証をすすめた。そのためにドイツミュンヘン工科大学の研究グループと共同で、EvtGen と呼ばれるイベントジェネレーターの中に新物理の効果を取り入れた B 中間子の崩壊過程のモデルを組み込み、その動作を確認した。この結果は日本物理学会と CHEP2019 国際会議で発表された。

最終段階としてイベントジェネレーターの出力を用いて多変量解析モデルを学習させ、実験データを模したシミュレーションのデータを入力し、新物理モデルのパラメータを回帰解析で求めた。すると入力パラメータの値と回帰解析で得られた値に図のようなバイアスが生じることがわかった。これは多変量解析になんらかの系統的問題があることを示しており、その原因を調査したが、研究期間内に理由を突き止めることができなかった。これは別の科研費基盤研究 C において引き続き研究が続いている。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hara Koji, Itoh Ryosuke, Miyake Hideki, Mishima Satoshi	4. 巻 245
2. 論文標題 Monte Carlo event generator with model-independent new physics effects for $B \rightarrow K^{(*)}l+l-$ decays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 06030 ~ 06030
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1051/epjconf/202024506030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 原康二
2. 発表標題 Monte Carlo event generator with model-independent new physics effect for $B \rightarrow K^{(*)}ll$ decays
3. 学会等名 CHEP2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原康二
2. 発表標題 Monte Carlo event generator with model-independent new physics effect for $B \rightarrow K^{(*)}ll$ decays
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 領介
2. 発表標題 Initial performance of Belle II High Level Trigger and Back End Processing in the Beam Commissioning
3. 学会等名 Real Time 2019（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

EOS <a href="https://eos.github.io/">https://eos.github.io/</a>
--------------------------------------------------------------------

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	両角 卓也 (Morozumi Takuya) (20253049)	広島大学・理学研究科・准教授  (15401)	
研究分担者	野尻 美保子 (Nojiri Mihoko) (30222201)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・教授  (82118)	
研究分担者	石川 明正 (Ishikawa Akimasa) (40452833)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・准教授  (82118)	
研究分担者	田中 実 (Tanaka Minoru) (70273729)	大阪大学・理学研究科・助教  (14401)	
研究分担者	早坂 圭司 (Hayasaka Keiji) (40377966)	新潟大学・自然科学系・研究教授  (13101)	削除：2019年6月21日

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	堺井 義秀  (Sakai Yoshihide)  (90170571)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・教授    (82118)	削除：2018年6月22日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関