

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K01517

研究課題名(和文) 遠隔地相互作用実験を実現する経済実験システムの開発

研究課題名(英文) Development of an Economic Experiment System for Remote Interaction Experiments.

研究代表者

林 良平 (Hayashi, Ryohei)

高知工科大学・経済・マネジメント学群・講師

研究者番号：80633544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、1000人同時参加も可能なオンライン経済実験システム(OXPT)を開発し、遠隔地相互作用実験を実現することを目的とした。研究計画で予定していた実験システムの設計、多言語化・公開、ハードウェア制作、実験作成マニュアルの整備・システムとマニュアルの改善、研究成果のまとめのそれぞれについて、達成できた。OXPTはWebサービスとして無料公開され、国内の教育機関で利用されている。また、Sydney Workshop on Experimental Economics and Theory(2019)で研究発表された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、被験者が好きな場所から実験に参加でき、同時に多数の被験者が相互作用のある状況で実験できるオンライン経済実験システムを開発することを目的とした。このシステムは、実験実施者のコストの大幅な減少、被験者の参加に伴う費用の減少、緊張や興奮、被観察感の影響の排除などの利点がある。システムの実現により、大量の被験者から高頻度の実験データを収集すること、多国間の文化の違いを検証することなどが可能になった。1000人同時実験をリアルタイムで行うためには、計算・通信負荷を分散・減少させ、かつ各被験者の行動の受付順序を正確に集計する必要があり、高度なプログラミング技術によって達成された。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop an online economic experiment system (OXPT) that allows 1,000 people to participate simultaneously and to realize a remote interaction experiment. I achieved the design of the experimental system, multilingualization and publication, hardware production, preparation of the experiment creation manual, improvement of the system and manual, and summary of the research results, which were planned in the research plan. OXPT is open to the public free of charge as a web service and is used by domestic educational institutions. In addition, the research was presented at the Sydney Workshop on Experimental Economics and Theory (2019).

研究分野：実験経済学

キーワード：経済実験 多言語化 持続化 スケーラビリティ 遠隔地実験 相互作用実験 CDN化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンピュータ実験システムは、Williams(1980)がイリノイ大学を中心に開発した汎用教育支援システム(PLATO)以来、多くの開発例がある。現在では、チューリッヒ工科大学で開発された z-Tree (Fischbacher, 2007)、スマートフォンなどのデバイスで実施できる oTree (Chen et al., 2016) がよく用いられている。教育目的の実験システムとしては、MobLab、Veconlab など多数存在する (Łatuszyńska et al., 2014)。国内では、ブラウザ上で手軽にできる実験(栗山・馬奈木, 2012)などが提案されている。これらの実験システムは、主に実験室実験を想定して設計されており、実施場所が限定される。被験者を会場に集合させ、一斉に説明し、同時に実験を始めて、報酬を渡すシステムである。また、手軽にアンケート調査を実施できる Web アンケート・サービスも多数存在する (e.g. Google フォーム)。ただし、Web アンケート・サービスでは相互作用実験はできない。

つまり、既存のコンピュータ実験システムには、コンピュータが設置されている実験室でしか実験できない、相互作用実験ができない、リアルタイム実験ができない、1 クラス分程度の少人数でしか実施できない、多言語同時実験ができない、実験実施者が実験プログラムを作成し、サーバーを用意しなければならない、などの問題点があった。そこで著者は、遠隔地実験、相互作用実験、リアルタイム実験、大規模実験、多言語同時実験(以下では 5 条件と呼ぶ)を可能にする実験システムの実現が必要であると考えた。

これまで 5 条件を満たす実験システムが存在しなかった理由は、それぞれの条件を達成するだけでも困難である上に、これらを同時に達成することは複雑性が極端に増え、極めて困難であるからである。

ダブルオークション実験を例に、相互作用実験と大規模実験を同時達成する困難さを考えてみよう。ダブルオークション実験は、被験者の役割をランダムに売り手と買い手に割り当て、売り手の持つ財を買い手が購入する市場実験である。この際に、売り手は全被験者に対して希望する売値を公表し、買い手は全被験者に対して希望する買値を公表することが特徴である。売り手は、自分以外の売り手の売値一覧を見て、自分の売値が現在の最安値よりも少しでも高ければ売れないことを理解し、最大限に値引きする。買い手も、自分以外の買い手の買値一覧を見て、自分の買値が現在の最高値よりも少しでも低ければ買えないことを理解し、最大限に値上げする。こうして市場参加者が最大限に努力した結果、市場価格が効率的な均衡価格に近づくという市場制度である。ダブルオークション実験は、ある被験者の意思決定がほかの被験者の意思決定に影響を与える相互作用実験である。

この実験を 1,000 人同時に行う場合を考えてみよう。ある売り手が、自分の売値を決定すると、価格一覧(板)に反映されて、自分を含む全被験者 1,000 人に通知される。1 人の 1 アクションが、1,001 回の通信を発生させる。これを 1,000 人同時に行うため、各人が 1 アクションずつ行うだけでも $1001^2=1002001$ 回の通信が発生することになる。また各アクションのたびに、希望する売値よりも高い買値が提示済みであるか否かを調べ、該当する場合には取引を成立させて、板からそれぞれ該当被験者の情報を削除する。該当しない場合は、板を更新する。これらの計算処理も 1,000 回発生する。被験者が実験中に何度も価格を変更できるようにすると、変更した回数分の通信と計算処理が増加することになる。

さらに、この実験をリアルタイム実験にする困難さを考えてみよう。売り手が売値を決定すると、直ちに全被験者に通知される仕様である。また、各被験者は最新の板を参照して、取引成立前であればいつでも価格を変更することができる仕様である。さらに、この入札の受付順を間違えることは許されない。実験が開始されると、2 分以内に全被験者が 1 回目の入札を終え、3 分以内に平均して 3 回の入札を終える傾向がある。3 分間で 300 万回超の通信が発生するという事は、1 秒当たり 16,700 回の通信を行う必要がある。また、3,000 回の逐次的な計算処理も発生する。実際には入札は短時間に集中するため、より高頻度の通信と計算処理が求められる。

したがって、5 条件を同時に満たす汎用的な経済実験システムを、要求通り実直に実装することは、現在のインターネット環境とコンピュータの計算能力を鑑みると現実的ではない。いかに経済実験には不要な機能を削減し、実験結果に影響を与えない範囲で通信・計算処理負荷を分散・軽減させ、実験実施可能な実験統制にしていかが課題である。

2. 研究の目的

本研究課題では、これらの問題点をすべて解決したオンライン経済実験システムの開発を目指した。上記の課題から、本研究課題の学術的な問いは、このような実験システムはどのように実装され、どのように実験統制され、そしてそれは実現可能であるかという点にある。これまで、実験室実験や野外実験において実験実施者が考慮すべき実験統制については実験経済学で慎重に議論されてきた (e.g. Friedman & Sunder, 1994; Smith, 1976) が、本研究の学術的貢献は、実験統制の議論を遠隔地相互作用実験に拡張することである。

3. 研究の方法

研究は 5 条件に必要な要素を個別に実装することによって実現した。

遠隔地実験は、インターネット・ブラウザで実施できるシステムとすることにより実現した。インターネット・ブラウザにはソフトウェアによって仕様や挙動が異なるため、クロスブラウザで統一的に開発できる React を用いた。また、画面が大きいパソコンと小さいスマートフォンやタブレットでも、同様の操作が可能なデザイン (Responsive web design) を採用するために、MUI (Material UI) を採用した。実験システムへアクセスした際に、表示するファイルのダウンロード等でサーバーに処理負荷がかかることやネットワークが圧迫されて遅延が生じることを避けるために、CDN (Amazon CloudFront) 上にファイルを配置した。さらに、被験者が閲覧する必要のないページ (実験実施者用の画面や実験システムの紹介ページなど) を表示するためのファイルをトップページ表示ファイルから切り離すコード分割 (Code Splitting) と遅延読み込み (Lazy loading) を採用したうえで、ファイル圧縮によりデータ量を最小化した。一方で、実験開始後に必要となるファイルについては、開始前に先読みダウンロードさせることで、実験開始後の遅延が生じないようにした。これらの技術により、実験開始後は、被験者のアクション情報だけがやり取りされ、通信負荷や通信遅延を減少させることに成功した。

相互作用実験の実現には、実験者から送られてくるアクションを正確な受付順に逐次処理することと、全被験者が一意なデータを共有することが必要であった。多数の被験者が各々で意思決定する状況は、非同期処理で実装することが一般的であるが、技術的に複雑になり、解決できないエラーが発生する原因ともなる。そこで、サーバー側プログラミング言語には、同期的な処理を高速で実行でき、耐障害性に優れた Elixir を採用した。被験者から送られてくるアクションは、サーバー側で受付順に高速で処理され、処理された結果はサーバーのメモリ上に置かれた唯一の状態変数 (state) を更新する。全被験者はこの state を常に参照し、state を更新することで実験を進めていく。この方法は、被験者ごとに状態変数を持たせて処理結果を統合的に統合する必要のある非同期処理に比べて、プログラムが書きやすく、不具合が発生しにくい。なお、同時に複数の実験が実施できるようにするため、並行プログラミングを採用した。

リアルタイム実験は、Websocket 技術を採用して実現した。単純な WEB アプリであれば、ユーザーは画面上で情報を入力したり、ボタンをクリックするなどの操作を行い、その操作を契機として通信が発生する。サーバーはユーザーからの要求に応じて処理結果を返す一方通信である。しかしこの方法は、他の被験者が state を更新した際に、自分の画面は更新されない。別の方法として、一定時間ごとに最新の情報を取得しに行ったり、自分の情報を送ったりするタイマーを走らせる方法がある。しかし、この方法は不要な通信を大量に発生させる点と、最新情報に更新されるまでに一定の遅延が生じるという問題点がある。そこで、本システムでは、ブラウザ側からサーバー側への通信だけでなく、サーバー側からブラウザ側への通信も可能にする双方向通信を実現するために、Websocket 技術を採用した。Websocket 通信によりサーバーとブラウザは常時接続されている状態を維持できる。そのうえで、サーバー上での state の更新をブラウザに直ちに通知し、ブラウザの表示を動的に更新できるようにした。サーバー側からブラウザ側の表示を操作できるため、実験実施者による画面遷移や実験設定の即時反映などが可能になった。

大規模実験は、サーバー側の処理高速化・分散・軽減と、ブラウザ側の描画速度制限に沿った通信の削減によって実現した。サーバー側は state をメモリ上に配置することで高速に読み込むことができ、さらに state を更新する際に、現在のメモリ上の番地を編集するのではなく、更新後の state を新たな番地書き込むことで処理を高速化した。また、サーバー側は state の管理を主に行い、画面表示に関わる処理はブラウザ側で行わせることで、サーバーの負荷を減少させた。ブラウザ側は新たな state が送られてきた場合に画面を再描画するが、再描画速度には限界があり、高速に再描画できたとしても被験者の意思決定には影響しない場合がある。そこで、被験者の意思決定に影響しない程度に state の更新情報を集計して、集計後の state を送信する方法を採用した。ダブルオークション実験であれば、短時間に高頻度のアクションを受け付けている最中は、各被験者にはアクション受付時と 0.3 秒後の state の差分を送信するようにすることで、不要な通信と画面再描画の発生を大幅に抑制した。アクションの頻度が少ない場合は直ちに更新された state を送信している。

多言語同時実験は、画面デザインやボタンなどのコントロール要素と言語ファイルを分離することで実現した。この設計により、どの被験者も日本語、英語、スペイン語の好きな言語で同じ URL から実験に参加できるだけでなく、実験中に言語を変更することも可能になった。またプログラムを書く際も、各言語で別のプログラムを書く必要がないため、作業を効率化できた。

実験システムが期待した通りに動作することを確認するために、自動テスト機能も実装した。サーバー側、ブラウザ側はそれぞれ単体テスト、統合テストを自動で行うプログラムを作成した。また、1,000 人同時実験が実施可能かを確かめるために、自動負荷テストツールをクラウドサーバー上に置き、負荷テストを実施し、テストを通過したプログラムを本番サービスとして公開した。本番サービス上では、慶応大学や東海大学、高知工科大学の授業を利用して大規模実験を実施し、実用状況下での不具合を洗い出し、対策して、品質を向上させた。

4. 研究成果

研究成果は Web サービスとして無料公開され、国内外の教育機関で利用されている。プログラムは Gitlab 上で公開され、だれでも利用、改変、再配布できるようになっている。また、Sydney Workshop on Experimental Economics and Theory (2019) で研究発表された。さ

らに、雑誌「経済セミナー」に「体験して学ぶ経済学 教室実験のすすめ」として6回連載された。

本研究課題は実験システムの開発が目的であったため、研究目的の実験は実施されていない。そこで、2022年度に国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A)）に採択された「日豪同時相互作用実験による文化混在状況下における協力行動の動学的実証研究」を原資に、日本とオーストラリアをつないだ同時実験を実施する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Ryohei Hayashi
2. 発表標題 Online experimental system for economic education
3. 学会等名 Sydney Workshop on Experimental Economics and Theory (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 林良平、川越敏司、佐々木俊一郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 11
3. 書名 経済セミナー2021年2・3月号 通巻 718号	

1. 著者名 林良平、川越敏司、佐々木俊一郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 9
3. 書名 経済セミナー2020年4・5月号 通巻 713号	

1. 著者名 林良平、川越敏司、佐々木俊一郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 9
3. 書名 経済セミナー2020年6・7月号 通巻 714号	

1. 著者名 林良平、川越敏司、佐々木俊一郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 11
3. 書名 経済セミナー2020年8・9月号 通巻 715号	

1. 著者名 林良平、川越敏司、佐々木俊一郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 9
3. 書名 経済セミナー2020年10・11月号 通巻 716号	

1. 著者名 林良平、川越敏司、佐々木俊一郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 9
3. 書名 経済セミナー2020年12月・2021年1月号 通巻 717号	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>GitLab上のoxpt_umbrellaプロジェクト https://gitlab.com/xeejp XEEシステム https://xee.jp</p>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------