

# 統計教育ツールとしてのjamovi

眞 嶋 良 全  
永 井 暁 行  
石 川 悟  
藤 木 晶 子  
松 浦 年 男

## 統計教育ツールとしての jamovi

眞嶋 良全 永井 暁行 石川 悟  
 Yoshimasa MAJIMA Akiyuki NAGAI Satoru ISHIKAWA  
 藤木 晶子 松浦 年男  
 Akiko FUJIKI Toshio MATSUURA

### 目次

- 1 社会科学における統計改革をめぐ  
る情勢
- 2 統計教育ツールとしての  
jamovi
- 3 結論

### 〔Abstract〕

#### Introducing jamovi as a Tool for Education in Statistics.

In the past decade, research methodologies in science have been reviewed rapidly after the major criticism against low reproductivity of various scientific findings, namely *replication crisis*. In response to the crisis, several guidelines have encouraged to report not only  $p$ -values of statistical testing, but also other indices, such as effect size and confidence interval, to adopt Bayesian approach, and to avoid dichotomous judgments based solely on  $p$ -value. It is also recommended to reconsider education of research methodology, particularly the use of statistics in scientific research. Teaching statistics is always accompanied by the choice of statistical software. Although proprietary software (e.g., SPSS) incorporated as a default teaching tool in many universities, it has several disadvantages over open-source software: extremely high cost, discontinuity of educational effectiveness, and delays in implementing newer statistical methods. In this paper, we will propose an alternative approach to statistics education in the new era. We suggest open-source statistical software “jamovi” as a successful candidate of educational tool in statistics, because it has a user-friendly GUI and is based on powerful statistical programming language R. In this paper, we argued the potential benefits of “jamovi” and introduced how it works with typical statistical testing.

### 1 社会科学における統計改革をめぐ る情勢

社会科学領域，特に心理学研究では，研究の再現性を問題視する再現性危機（Open Science Collaboration, 2015）の指摘以降，心理学者および周辺分野の研究者を巻き込んだ議論や（例えば，三浦・岡田・清水，2018；友永・三浦・針生，2016），それに伴う研究方法論の見直しが行われている。そ

の中では，帰無仮説検定（Null Hypothesis Significance Test）への偏重や，統計的有意性の指標である有意確率（ $p$ -value）への依存，中でも，有意水準を分水嶺とする二値的判断，あるいはそこから生じるQRPs（Questionable Research Practices）の増加等が再現性を低める一因となっていること（例えば，大久保，2016），この問題は統計分析を行う他の領域においても同様に見ら

キーワード：統計教育，jamovi，オープンソース，R言語，教育の継続性

Key words：Statistics education, jamovi, opensource, R language, continuity of education in statistics

れ、科学における統計危機の様相を呈していることが指摘されている (Gelman & Loken, 2014)。その危機への対抗策として、アメリカ心理学会 (APA) やアメリカ統計学会 (ASA) の指針を踏まえる形で、研究論文において有意確率以外にも、効果量 (effect size) や信頼区間 (confidence interval) を併用した報告、ベイズ的アプローチの導入、単一の指標 (すなわち、有意確率) による二値的判断の回避などが推奨されている (南風原, 2018; 堀, 2017)。

このような研究方法論の改革 (心理学改革, 堀, 2017) の流れの中で、心理学を専攻する学生に対する統計教育の見直しも求められるようになってきている。例えば、有意確率だけではなく、効果量、信頼区間、検定力といった様々な側面からデータを多面的に捉えることを勧める教科書 (例えば, 南風原, 2014) が出版されたり、また、心理統計に関する書籍の中にもベイズ統計やベイズモデリングといったワードを含むものが増えつつある。このように心理統計では、統計教育の内容を大幅に見直す必要に迫られている。また、この統計改革のことを脇に置いたとしても、統計手法そのものが日々進化しており、常に新たな分析技法が提案され、旧来の方法がそれに取って代わられるといったことが生じている。

統計教育には、その内容だけでなく、統計分析ソフトウェアの問題が常につきまとう。心理学を含む社会科学領域において統計分析を実際に行う場合は何らかのソフトウェアの使用が必須であり、多くの大学でも、一連の統計教育の中で特定のソフトウェアを用いた教育が展開されていることと思う。そのため、どのソフトウェアを使用するか、またそのソフトウェアがどのような機能を有しているかが、教育内容や質に影響してしまう。特に、上で述べたような大きな統計改革の中で、その流れに沿った教育を展開できるかどうか、

さらには、日々進化する統計技法に対応した教育をどの程度まで行うことができるかは、教育に用いるソフトウェアの対応状況に左右されてしまうという側面がある。

### 1.1 プロプライエタリ vs. オープンソース・ソフトウェア

社会科学領域における統計ソフトウェアには、大別して有償のプロプライエタリ・ソフトウェアと、無償のオープンソース・ソフトウェアがある<sup>1</sup>。

まず、プロプライエタリ・ソフトウェアとして有名な統計ソフトウェアには、SAS, SPSS, S-Plus, Stata や、SAS社が開発している jmp がある。これらに共通しているのは、さまざまな統計分析に対応する統合的な環境を提供していること、GUI インターフェース (graphical user interface) やマニュアル類の整備など、初学者の利用を (一定程度) 想定した設計になっているという点が挙げられる。一方で、多機能な統合的環境を提供するというミッションの性質上、どうしても導入費用が高額になってしまう点がデメリットとなる。加えて、メーカー内での十分なテストや、マニュアル類の整備が完了しないと機能が実装されないため、新しい機能の導入に時間がかかり、最新の分析法へ対応しきれないという問題もある。CUI インターフェース (character user interface) から直接コマンドを操作することで、それらの分析方法に対応することもできないわけではないが、高度なプログラミングスキルを要求されるため、かえって初学者にとっては利用のハードルが高い。

一方のオープンソースの統計ソフトウェアとしては R (R Core Team, 2018) が最も有名であろう。R は、それ自体がソフトウェアの名前でもあるが、根幹を成すのは統計解析のためのプログラミング言語としての R 言語であり、言語とその開発実行環境が R という

ソフトウェアを構成していると言ってよい。R言語は、データの操作や分析だけでなく、出版に耐えうる図表の作成など数多くの機能が関数として用意されており、必要に応じてパッケージをインストール・ロードすることによって多様な機能が利用可能となる。Rに限ったことではないが、オープンソース・ソフトウェアに共通しているのは、ソフトウェア自体が無償であることに加え、ソースコードが公開されているということである。このオープン性のために、ソフトウェアの発展に多数のコミュニティ・メンバーが関与することとなり、結果として先進的・実験的機能が早い段階で導入される傾向にあり、また更新の頻度も高い。実際にR言語には、Rそのものの開発には携わっていないメンバーから提供された関数が多数存在する。一方で、プロプライエタリ・ソフトウェアに比べると、初学者ユーザーのサポートの充実という点では遅れを取る傾向にある。特に初学者がつまづく最大の原因であるCUIからのコマンド入力ではなく、GUIでの操作を可能にするような統合的開発環境の整備は大量の開発リソースを消費するため、基本的にボランティア・ベースで行われることの多いオープンソース・ソフトウェアでは達成が容易ではない。

以上のように、プロプライエタリ・ソフトウェア、オープンソース・ソフトウェアはそれぞれで長所と短所がある。それでは、本稿で想定している、初学者対象の統計教育と、その教育におけるソフトウェアの利用という観点から、これらの長所・短所をどのように考えることができるだろうか。次節では、この点について論じてみたい。

## 1.2 オープンソース・ソフトウェアという選択

前節の議論をふまえると、初学者の利用・教育にあたっては、プロプライエタリ・ソフトウェアの導入が最適であるように思えるか

もしれない。確かに、他の用途で使われるソフトウェアについては、有償のプロプライエタリ・ソフトウェアは、長きにわたる開発資産や、デファクトスタンダードとして採用されたソフトウェアへの慣れ、参考書籍の充実なども相まって、教育用のリソースがふんだんに存在するのは事実である。

しかしながら、統計ソフトウェアについては、必ずしもこのメリットがオープンソース・ソフトウェアを駆逐するものとはなり得ない。有償の統計ソフトウェアは、例えばオフィス・スイートなどに比べると一般的な需要がそこまで高くないだけでなく、高度な技術が要求されることもあり、一般に高額である。そのため、個人での購入が非現実的な価格設定であり、利用する環境が制限される。教育用途という点で言えば、大学等の機関が一括ライセンスで購入することが多く、学生が個人で購入することは現実的ではない。

ここで、プロプライエタリ・ソフトウェアには一つの問題が発生する。それは、教育の継続性という問題である。まず、ソフトウェアが機関購入されたものである時、多くの場合は、その利用が機関内に設置された端末に限定され、学外での利用が不可能である。そのため、ソフトウェアの個人使用ライセンスを持っていない学生が、時間外の、特に自宅学習において利用できないという制約がある。加えて、学生が在籍していた学校を卒業、退学するとソフトウェアを利用できなくなるという問題もある。オフィススイート・ソフトウェアについては、卒業後も比較的安価な価格で継続利用が可能であるし、また企業等での利用も多いことから、卒業後も比較的利用の機会が多いと思われる。しかしながら、統計ソフトウェアについては、その高額さゆえに、学生が卒業後に在学中に修得したソフトウェアと同じ環境で統計解析を行える可能性は極めて低い。従って、教育を在学中のものだけに限定して考えるのであれば、有償

のプロプライエタリ・ソフトウェアを利用した教育は、却って学生が在学中に修得したスキルを卒業後に発揮する機会の妨げになりかねないのである。一方で、オープンソース・ソフトウェアは、その利用が無償であるため、自宅学習においても同じ環境での学習が可能であり、さらに獲得した諸スキルを、そのまま卒業後に発揮できる。このように、オープンソース・ソフトウェアは、短期・長期的な教育効果の促進と維持という面で非常に大きなメリットがあるといえる。

さらに、全てのソフトウェアに当てはまるわけではないものの、利用者の多いオープンソース・ソフトウェアは、ユーザーの裾野が広く、より多数のユーザーが開発にも関わることになるため、先進的な機能がいち早く実装されやすいというメリットがある。結果として、これまでオープンソース・ソフトウェアの弱点であった初学者にも使いやすいGUI環境やサポートライブラリの整備も、プロプライエタリ・ソフトウェアに遜色ないほど行われているケースも存在する。また、ユーザーの裾野が広がることによるさらなる副産物として、ユーザーサイドからのさまざまな情報提供が盛んになることで、初学者がアクセスできる情報量が増加しているということも挙げられる。実際に、学術論文における統計ソフトウェアの分布として、2012年を境にオープンソース・ソフトウェアのRが、プロプライエタリ・ソフトウェアの代表とも言うべきSPSSを越えて用いられるようになったという指摘がある（例えば、Muenchen, 2019）。また、単純にR statistics, およびSPSS statisticsというキーワードでそれぞれGoogle検索をしてみると、本稿執筆時点において、前者は11億件を超えるヒットがあるのに対し、後者は5,500万件とおよそ20倍の開きがある。Google検索のヒット数は、必ずしもユニークなページ数を計算しているわけではなく、また、学習者にとって有益な

情報の量を正確に反映しているとは言えないものの、オープンソースであるRの方が、情報量の面でプロプライエタリ・ソフトウェアのSPSSを凌駕していることが見てとれる。

Rの使い勝手を向上させる取り組みとしては、CUIでのコマンドの入力を極力抑えGUIでの操作を可能にしたRコマンド（RCmdr）や、RCmdrにさらに機能を追加したEZR等が存在する。さらに、近年ではR言語の統合開発環境であるRStudio（RStudio Inc., <https://rstudio.com/>）の利用が増えている。RStudioはR言語のスクリプトファイル、コマンドを実行するコンソール、プロットの表示、ファイル一覧などの様々なウィンドウ（ペイン）からなり、配置は自由に変更できる。また、強力なコマンドの補完機能を持ち、関数やデータセット等の名前を途中まで入力すると表示された候補から選択することが可能になり、労力の低減に一役買っている。また、スクリプトファイルや、ドキュメント作成のためのパッケージであるR Markdownを使うことによって、分析の可視化や再現可能性を高めることも可能である（例えば、高橋, 2018）。他にも、多様なデータのハンドリングや可視化などの機能を統合したtidyverse（<https://www.tidyverse.org/>）というパッケージも開発されている。

以上のように、オープンソースの統計分析ソフトウェアの導入は、大きなメリットがあると言える。しかしながら、やはり大学入学までの教育においていわゆる理数系科目の教育を十分に受けてない、かつプログラミングのスキルを十分に獲得していない初学者ユーザーにとっては、R言語は敷居が高いのは事実であろう。また、いかに高性能とは言っても、複数のペインから構成されるRStudioのインターフェースを見た際に感じるある種の苦手意識によって、学習意欲が低下し、結果としてスキル修得の妨げになる可能性も否定できない。

本稿では、そのような苦手意識を持つ初学者ユーザーにとって導入の心理的なハードルが低く、一方で継続的な学習や、最終的にはR言語を用いた統計解析へと進みやすいと期待されるアプローチとして、近年開発されたGUIベースの統計ソフトウェアからスタートし、最終的にRへと繋げるという方法を提案したい。

## 2 統計教育ツールとしてのjamovi

さて、著者らの所属機関では、SPSS、およびR (RStudio) が学内の情報処理端末にインストールされている。特に、著者の多くが所属する心理学領域ではSPSSを標準的な統計ソフトウェアとして教育プログラムに組み込んできた。この状況を踏まえて、初学者にも利用しやすいGUIベースのオープンソース・ソフトウェアを選ぶとすると、JASP (<https://jasp-stats.org/>)、およびjamovi (<https://www.jamovi.org/>) の2つが候補として挙げられる。いずれも、SPSSと外観が良く似たスプレッドシート型のデータエディタや様々なモジュールから構成さ

れる分析ツール群を持ち、操作方法もSPSSのそれによく似ている。したがって、既にSPSSを教育に導入している場合、ソフトウェアの移行に関わるエフォートは比較的低いと推測される。

2つのソフトウェアのうちJASPは、アムステルダム大学のE. J. Wagenmakers (ベイズ統計の、通称「赤い人の本」「コワイ本」の著者として有名である) が中心となって開発したオープンソース・ソフトウェアであり、最新の統計手法を取り込むこと、APA形式の出力を可能にすること、従来の統計ソフトウェアとは異なりムダな出力を減らしてユーザーの混乱を避けることなどを重視して開発されている。特に、プログラミング・スキルがなくても分析が実行できること、初期の出力は最もシンプルになるように設計されているため理解しやすいことなどが特徴として挙げられる。さらにJASPは、伝統的な頻度論的な統計分析 (Frequentist analysis) に加え、ベイズ統計による分析 (Bayesian analysis) を行うことを意識して作成されている。JASPで可能な分析はTable 1 (左) に示されている。

Table 1. Available major statistical methods in JASP and Jamovi

Analysis	JASP		jamovi
	Frequentist	Bayesian	
A/B Test (Beta)	-	✓	-
ANOVA	✓	✓	✓
ANCOVA	✓	✓	✓
Binomial Test	✓	✓	✓
Confirmatory Factor Analysis (CFA)	✓	-	✓
Contingency Tables (incl. Chi-Squared Test)	✓	✓	✓
Correlation: Pearson, Spearman, Kendall	✓	✓	✓
Exploratory Factor Analysis (EFA)	✓	-	✓
Linear Regression	✓	✓	✓
Logistic Regression	✓	-	✓
Log-Linear Regression	✓	✓	✓
Machine Learning	✓	-	-
MANOVA	✓	-	✓
Mediation Analysis	✓	-	- <sup>a)</sup>
Multinomial	✓	✓	✓
Principal Component Analysis (PCA)	✓	-	✓
Repeated Measures ANOVA	✓	✓	✓
Reliability Analyses	✓	-	✓
Structural Equation Modeling (SEM)	✓	-	-
Summary Stats <sup>b)</sup>	-	✓	- <sup>a)</sup>
T-Tests: Independent, Paired, One-Sample	✓	✓	✓

Notes. a) functionality is provided as third-party modules, b) Bayesian estimates from summary statistics

もう一方のjamoviは、J. Loveらを中心としたチームによって開発されているソフトウェアで、JASPとよく似たインターフェースを持っている（JASPの開発メンバーが参加しているとのことである）。さらに、JASPと同様にコミュニティ志向を掲げるオープンソース・ソフトウェアであり、かつ最新の統計手法を直観的に利用できるように設計されている。jamoviとJASPの大きな違いとしては、jamoviが、分析の核となる統計機能をR言語によって実装しているという点が挙げられる。また、JASPに比べると、本稿執筆時点では、やや分析のレポーターが少なく（Table 1右）、特にベイズ統計による分析機能はデフォルトでは用意されておらず<sup>ii</sup>、共分散構造分析（SEM）も用意されていない。

両ソフトウェアは共に高いプログラミング・スキルなしで最新の統計手法を利用でき、一般に心理学系の大学生や大学院生が行う研究での利用が想定される範囲の手法が網羅されている。また著者らが試行した範囲では、実際の操作感にも大きな違いはなく、一方が他方を大幅に凌駕しているとは言いきれない。しかしながら、現時点で将来的により高度な分析を行うためには、最終的にR言語に移行する必要があることを考えると、まずは基本的な分析方法を学んだ後にシNTAX

スモードでR言語のコーディングを学び、最終的にRへと移行していくことを可能にするjamoviが最も学習コストの少ないソフトウェアであると思われる。

## 2.1 jamoviのユーザー・インターフェース

jamoviには、Windows, macOS, Linux, ChromeOS版があり、安定版（solid）と最新版（current）がそれぞれ用意されている（<https://www.jamovi.org/download.html>）。本稿執筆時点の2019年10月では、Windows用の安定版のバージョンは1.0.7、macOS用の安定版は1.0.8となっている。ここでは、Windows用の1.0.7をダウンロード、インストールしたものと話を進める。インストールしたjamoviを起動すると、Figure 1のような起動画面が表示される。これは、SPSSのデータエディタと同様に、スプレッドシート型のデータエディタの画面となっている。

スプレッドシート画面では、単純なデータの入力に加え、データの型変換（名義、順序、数値、ID）、変数の計算等が可能である。データ型のIDは、jamoviに特徴的な変数タイプであり、名前や参加者番号など分析には使用しない変数をIDに指定しておく、値の違いを内的に保存せずにソフトウェアのパ

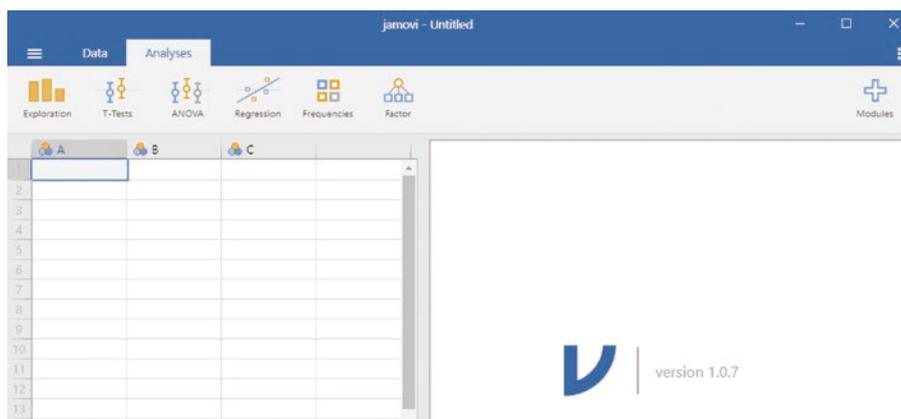


Figure 1 Spreadsheet interface of jamovi

パフォーマンスを向上させるようになっている。変数を用いた計算として、単純な四則演算だけでなく、関数を利用した変数の変換（対数変換、標準化等）や、変数の合成に使用する行毎の平均・標準偏差等の算出が可能となっている。また、SPSSのようなソフトウェアには通常用意されていない、変数全体の平均を計算する VMEAN() という関数も用意されている。さらに、データを直接スプレッドシートに入力するだけでなく、CSV形式、あるいはSPSS, Stata, SASのデータファイルを読み込むことが可能である（Excel形式は現在サポートされていないが、ExcelでCSV形式に変換してから読めばよい）。さらに、ファイルを読み込む際に、複数のファイルを同時にインポートすることが可能となっている。

## 2.2 jamoviでの分析例

次に、jamoviを使った分析がどのように行われるのかについて解説する。ここでは、実際に学術論文として公開された研究のオープンデータを利用する。オープンデータを利用した心理統計教育としては、Open Stats Lab (<https://sites.trinity.edu/osl>) というプロジェクトがあり、本稿では、このサイト

で使用されているデータセットから2つを選び、記述統計量の算出、2群の平均値の比較、回帰分析の実例を示すとともに、別のオープンデータを用いて因子分析の実行例を示す。

記述統計量の算出 本節と次節の2群の平均値の比較には、Open Stats Labのt-Test Activities (<https://sites.trinity.edu/osl/data-sets-and-activities/t-test-activities>) で実行教材としてあげられている Schroeder and Epley (2015) のデータを使用する。同ページからSPSS, またはCSVのデータセットをダウンロードし、jamoviで読み込んでみよう。以下では、SPSS用を使用して解説する。

jamoviでデータを読み込むには、起動後に左上にある3本線のボタンをクリックし、Openを選択する。デフォルトのフォルダはドキュメントになっているので、それ以外のフォルダにファイルがある場合は、右上のBrowseボタンをクリックして当該のフォルダに移動して、ファイルを開く。

データを開くと、Figure 2 (左) のようになる。列方向に変数、行方向に個々の観測個体が並ぶという典型的な心理測定データの形式となっている。このデータには多くの変数

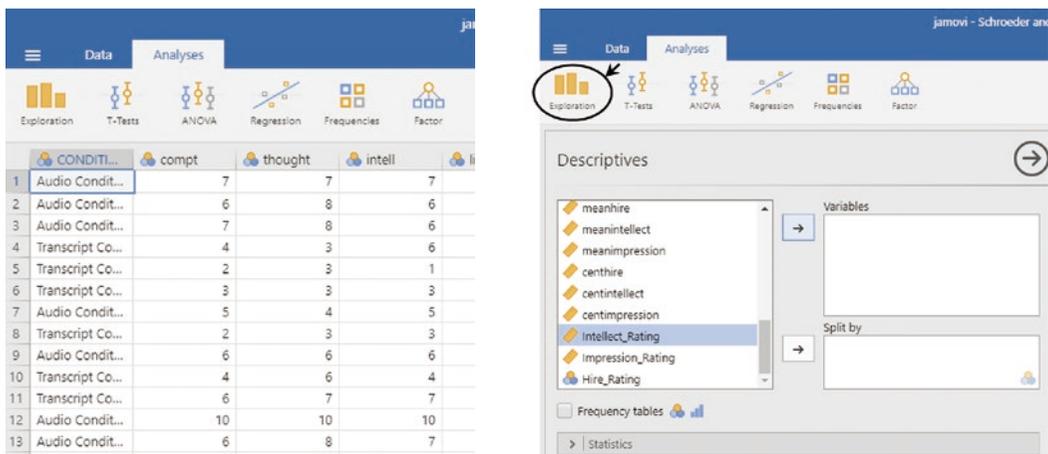


Figure 2 Spreadsheet view with opened data (left) and descriptive statistics menu (right)

があるが、ここでは、OSLでの学習例に倣い、Schroeder and Epley (2015, Study 4)で検討されている、実際の企業の人事担当者(研究協力者)が応募者(ターゲット)の自己PRを音声で聞いた場合と、同じ内容を文章で読んだ場合とで、ターゲットの知的レベルの評価(Intellect\_Rating)に差が見られるかどうかについて統計的仮説検定を行う。なお、ここでの目的はjamoviによるデータ分析の実際を概観することであるので、この研究の内容についての詳細を論ずることはしない。

さて、まずは統計的仮説検定に先立って、知的レベルの評価の記述統計量を実験条件(CONDITION)別に求め、その上で表を作成してみよう。記述統計量は、AnalysesタブにあるExplorationメニューからDescriptivesを選択して計算する。メニューを選択するとFigure 2(右)のようになる。左側の大きなボックスの中に一覧が表示されるので、必要な変数をVariablesボックスの

中に入れる。それでは、Intellect\_Ratingをボックスの中に入れてみよう。自動的に記述統計量が計算され、右側の結果ウィンドウに表示されるはずである(Figure 3)。

デフォルトの設定では、サンプルサイズ、欠測値の数、および平均、中央値、最小値、最大値が表示される。計算したい記述統計量が他にもある場合は、統計量(Statistics)オプションを開いて該当する統計量にチェックを付ける。変数は大きくサンプルサイズ(Sample Size)、パーセンタイル値(Percentile Values)、散布度(Dispersion)、中心傾向(Central Tendency)、分布(Distribution)、正規性(Normality)の 카테고リーに分かれている。ここでは、デフォルトの統計量に加えて、標準偏差(Std. deviation)、平均の標準誤差(S. E. Mean)、次項で行う2群の平均値の検定の前提となる分布の正規性の確認のため、シャピロ・ウィルク(Shapiro-Wilk)検定の結果を表示してみる(Figure 3)。

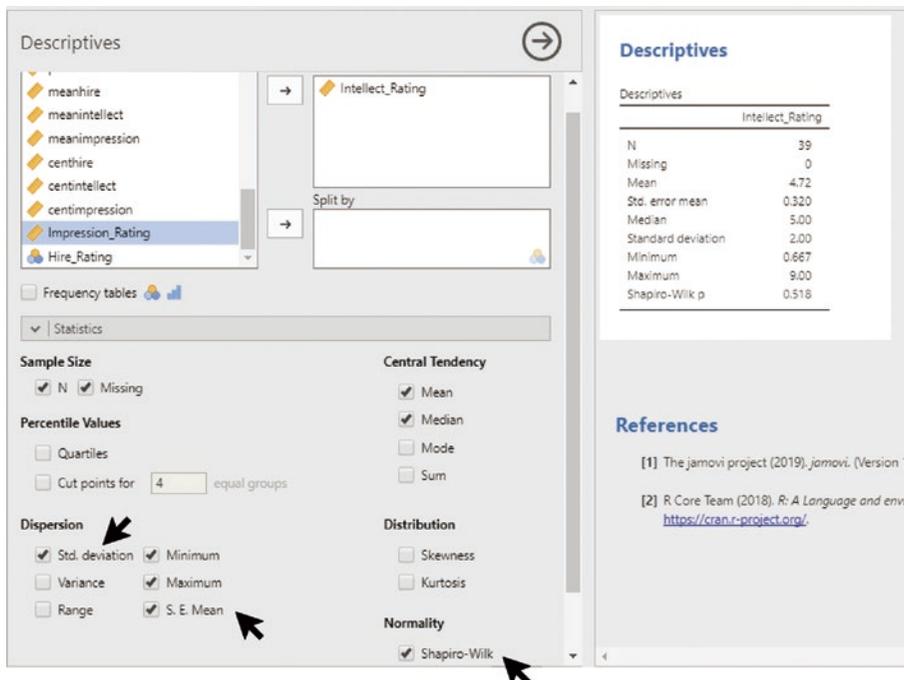


Figure 3 Descriptive statistics and Shapiro-Wilk's test

また、Descriptivesメニューではデータの度数分布を確認することも可能である。変数ボックスの直下にFrequency Tablesというチェックボックスがあるが、これは名義尺度、順序尺度の変数のためのものであり、今回のIntellect\_Rating変数は量的変数（間隔尺度）であるので使用しない（チェックを付けても何も起きない）。

量的変数の度数分布は、作図（Plot）オプションの中のヒストグラム、箱ひげ図、またはヴァイオリン図を描画することで確認する。それでは、ヒストグラムとヴァイオリン図を作成してみよう。ヒストグラムは、Histogramにチェックを付けるだけで作成され、Densityにチェックを付けると、ヒストグラムに密度曲線が重ねられて作図される。ヴァイオリン図は箱ひげ図にデータの分布を示す確率密度を加えたグラフとして作成されるものであるが、jamoviでは、Violinオプションでは確率密度の分布のみが表示されるので、Box plot、Violinの両方にチェックを入れるとヴァイオリン図が作成される（Figure 4）。

なお、Split byボックスはグループ分けをする変数を指定するものであり、ここで指定した変数の値に応じてグループ分けがなされ、そのグループごとに記述統計量の計算と作図が行われる。

分析例 #1：2群の平均値の比較 次に、このデータを用いて、実験条件、すなわち自己PRの呈示方法（音声 = Audio・文章 = Transcript）によりターゲットの知的レベルの評価に差が見られるかどうかについて、統計的仮説検定を行う。このように異なる協力者からなる集団間の平均値の比較は、独立な2群の $t$ 検定によって行われる。jamoviでこの分析を行うためには、AnalysesタブにあるT-Testsメニューの中のIndependent Samples T-Testを選択する。メニューを選択すると、記述統計量の場合と似たような画面が表示されるので、平均を比較する従属変数をDependent Variablesボックスに、群分けに使用する独立変数をGrouping Variablesボックスに入れる（なお、このインターフェースはSPSSのそれに良く似てい

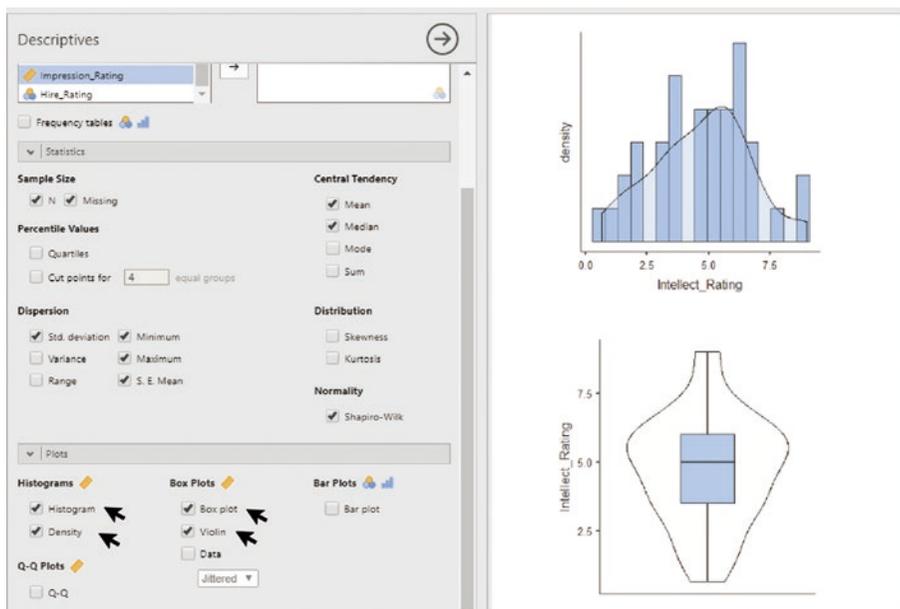


Figure 4 Box and violin plots

る)。それでは, Intellect\_Ratingを従属変数, CONDITIONを独立変数として $t$ 検定を実施してみよう。

記述統計量の場合と同様に, 変数を設定するだけで自動的に結果が表示される。 $t$ 検定のオプションは, デフォルトでは, 等分散を仮定した独立な2群の $t$ 検定 (Student's) を両側検定 (Group1 ≠ Group2) で行うようになっている。それでは, まずは2群の等分散性の仮定が成り立っているかどうかを確かめよう。そのためには, 仮定チェック (Assumption Checks) グループにある等分散性 (Equality of variances) を選択すると (Figure 5), ルビーン (Levene's) の等分散性の検定結果が,  $t$ 検定の下に表示される。今回のデータは, 等分散性の仮定が満たされている [ $F(1, 37) = 0.89, p = .35$ ] ので, そのまま $t$ 検定を行うことができる。今回の平均値差の検定結果は,  $t(37) = -3.53, p = .001$ と, 2群の平均値の差が有意であることがわかる。等分散性の仮定が満たされない場合は, 自由度を調整したウェルチの検定が必要となるが, その場合は, 検定 (Tests) グループにある Welch's にチェックを付けばよい。なお, 分布の正規性が仮定できなく, そもそも $t$ 検定が行えない場合は, ノンパラメトリック検定としてマン・ホイットニーのU検定もオプションとして用意されているので, 必要に応じて使い分けることができる。また,  $t$ 検定を行う際に, 検定の証拠の強さを表す指標であるベイズファクター (Bayes factor) の算出も可能である ( $BF_{10} = 27.9$ )。

さらに, jamoviでは,  $t$ 検定の結果に加えて, 追加の統計量として効果量 (effect size) や効果量の信頼区間, 群ごとの記述統計量と図も表示することができる。これらの指標は, 追加統計量 (Additional Statistics) グループにある。ここでは, 全てのオプションにチェックを付けてみよう。

$t$ 検定の結果の右側に, 平均値差 ( $-1.99$ )

とその標準誤差 (0.563), さらに平均値差の95%信頼区間 (95% CI [ $-3.13, -0.845$ ]) が表示される。ここまではSPSS等の統計ソフトウェアでもよくある値だが, 効果量 (Effect size) オプションにチェックを入れることでCohen's  $d$ が出力される点が異なっている。このデータの場合 $d = -1.13$ であり, 2群の差が大きいことがわかる。

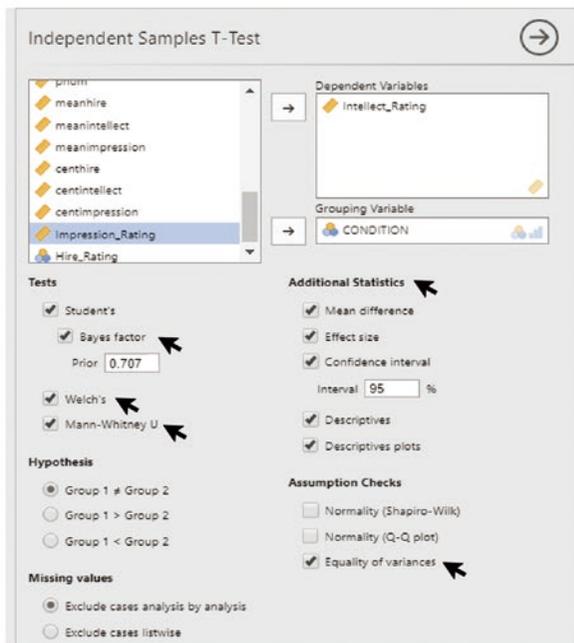
群ごとの記述統計量とグラフは, 仮定チェックの下に表示される。記述統計量としては, 他のソフトウェアと同様に, サンプルサイズ, 平均, 中央値, 標準偏差, 標準誤差が出力される。また, グラフは, 平均を中心とした95%信頼区間がエラーバーでプロットされ, 同時に中央値もプロットされる仕様になっている。ただし, グラフのオプションを細かく指定することはできないので, デフォルトの作図以外の図が必要な場合は別途作成する必要がある。例えば, 棒グラフに, 95%信頼区間ではなく, 平均 $\pm$ SEのエラーバーを付けたものを作成したい場合は, グラフの上にある群ごとの記述統計量の表を別のソフトウェアにコピーするなどして対処すればよい。表をコピーしたい場合は, 表を右クリックして, Copyし, コピー先のソフトウェアで貼り付ける (図も同様である)。なお, 図表ともにPDFファイルとして保存することも可能である。その場合は, 図を右クリックして, Saveを選択する。なお, 表についてはPDF以外にHTML形式, 図についてはPNG, SVG, EPS形式で保存することが可能である。ちょっとした修正程度であれば, ベクター形式であるSVGで保存した上で, ドロー・ツールで修正すればよいだろう (ただし, 著者らは試したことはない)。

分析例 #2: 回帰分析 次に回帰分析の例として, OSLのRegression Activitiesで挙げられているTworek and Cimpian (2016, Study 1) のデータを使用する。先ほどと

同様、データセットを jamovi で読み込んでみよう。ここでは、OSL の学習課題に則り、「～べき」と考える程度 (ought inference) が、物事の説明に際してその物の内在的な (inherent) 性質に依存する傾向 (内在性バイアス, *inherence-bias*, Cimpian, 2015) によってどの程度説明されるかという回帰分析

を実施する。データでは、*Ought\_Score* が従属変数、*Inherence\_Bias* が独立変数になっている。

ただし Tworek and Cimpian (2016) では、全データが分析の対象とはなっておらず、米国外に居住している、または注意チェック (attention check) テストで失敗した参加者



### Independent Samples T-Test

		statistic	±%	df	p	Mean difference	SE difference	95% Confidence Interval		Cohen's d
								Lower	Upper	
Intellect_Rating	Student's t	-3.53		37.0	0.001	-1.99	0.563	-3.13	-0.845	-1.13
	Bayes factor <sub>0.707</sub>	27.9	4.11e-8							
	Welch's t	-3.48		33.4	0.001	-1.99	0.571	-3.15	-0.825	-1.13
	Mann-Whitney U	84.5			0.003	-2.00		-3.00	-1.000	-1.13

[3] [4]

### Assumptions

Test of Equality of Variances (Levene's)				
	F	df	df2	p
Intellect_Rating	0.892	1	37	0.351

Note. A low p-value suggests a violation of the assumption of equal variances

[5]

Group Descriptives						
	Group	N	Mean	Median	SD	SE
Intellect_Rating	Transcript Condition	18	3.65	3.67	1.91	0.451
	Audio Condition	21	5.63	5.67	1.61	0.351

Figure 5 Independent samples t test (top panel = options, bottom panel = results).

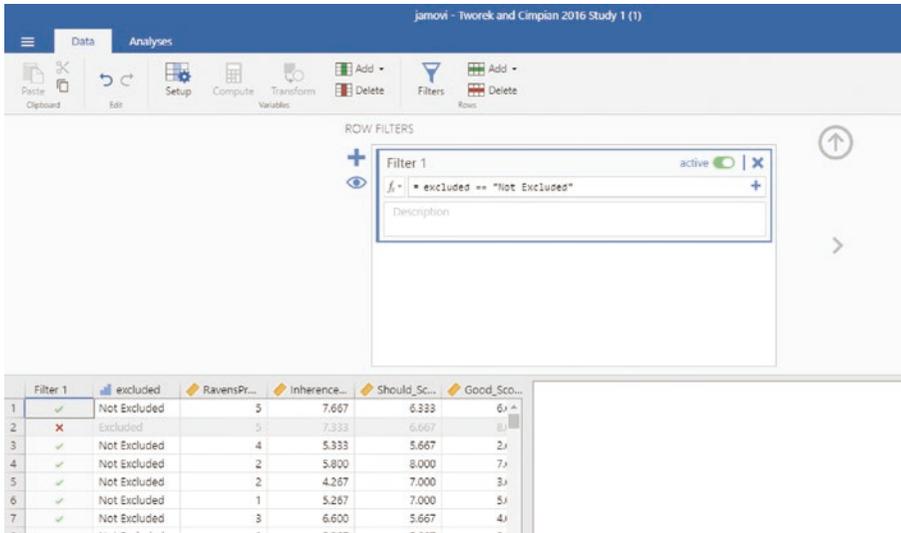


Figure 6 Filter settings

のデータは分析対象外となっている。OSLで提供されているSPSS形式のデータでは、excluded変数にその情報が保存されている(Excluded = 分析対象外, Not Excluded = 分析対象)。分析に先立って、excluded変数の値がExcludedになっているデータを分析の対象から除外する必要がある。このような場合は、DataタブにあるFiltersでフィルターを設定する(Figure 6)。Filtersをクリックすると、フィルタ変数の設定画面になるので、Filter 1の設定に条件を記述する。今回の場合は、excluded変数が“Not Excluded”であるもののみを選択すればよいので、

= excluded == “Not Excluded”

と入力する。CSVデータをダウンロードした場合は、excluded変数の値がラベルではなく数値になっているので、この部分を、

= excluded == 0

とする。あとは、Filter 1をactiveにすればよい。

続いて、AnalysesタブのRegressionメニューにあるLinear Regressionを選択して回帰分析を行う。従属変数のOught\_ScoreはDependent Variableボックスに、独立変数のInherence\_BiasはCovariatesボックス

に入れる(Figure 7)。回帰分析のオプションは様々あるが、例では、適合度指標(Model Fit)の決定係数( $R^2$ )、調整済み決定係数(Adjusted  $R^2$ )、赤池情報量基準(AIC)、ベイズ情報量規準(BIC)、および回帰モデルのF検定の結果を示している。さらに、非標準化係数の点推定値しか表示されていないので、モデル係数(Model Coefficients)にある標準化係数(Standardized Estimate)、および非標準化係数の95%信頼区間を表示しておこう。これらの結果を総合すると、Inherence\_BiasスコアはOught\_Scoreのおよそ9%を説明し[Adjusted  $R^2 = .085$ ,  $F(1, 120) = 12.26$ ,  $p < .001$ ], 回帰係数が有意である( $\beta = .30$ ,  $p < .001$ )であることがわかる。

その他の設定オプションのうち、モデルビルダー(Model Builder)は主として階層的重回帰分析を行う場合等に使用する。参照水準(Reference Levels)は独立変数が名義尺度である場合に、参照の基準となる水準値を設定するために使われる。前提条件チェック(Assumption Checks)では、自己相関検定、多重共線性のチェック、残差のQ-Qプロットの出力が可能なので、必要に応じて使い分ければよい。

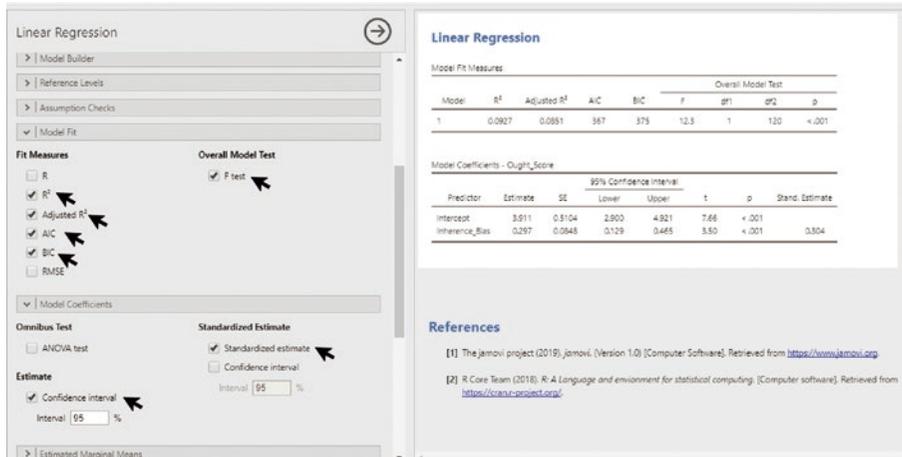


Figure 7 Linear regression analysis

分析例 #3: 因子分析 因子分析のサンプルデータとしては, Majima and Nakamura (2020) の日本語版一般的陰謀論者信念尺度 (GCBS-J) を用いる。この研究のデータは Open Science Foundation のアーカイブ (<https://osf.io/24w8u/>) からダウンロードできる。当該サイトの Files の Survey 1 フォルダにある Survey1\_EFA.csv が探索的因子分析用, Survey1\_CFA.csv が確証的因子分析用のデータセットである。

では, Survey1\_EFA.csv を用いて探索的

因子分析を試してみよう。探索的因子分析は, Analyses タブの Factor メニューから Exploratory Factor Analysis を選択する。GCBS-J は GCB\_1 ~ GCB\_15 の 15 項目からなるので, この 15 変数を Variables ボックスに移動する (Figure 8)。因子分析のオプションには, 因子抽出および回転法を設定する方法 (Method) セクション, 因子数の決定方法を設定する因子数 (Number of Factors) セクション, 因子分析の前提条件のチェック (Assumption Checks), 因子負荷量 (Factor

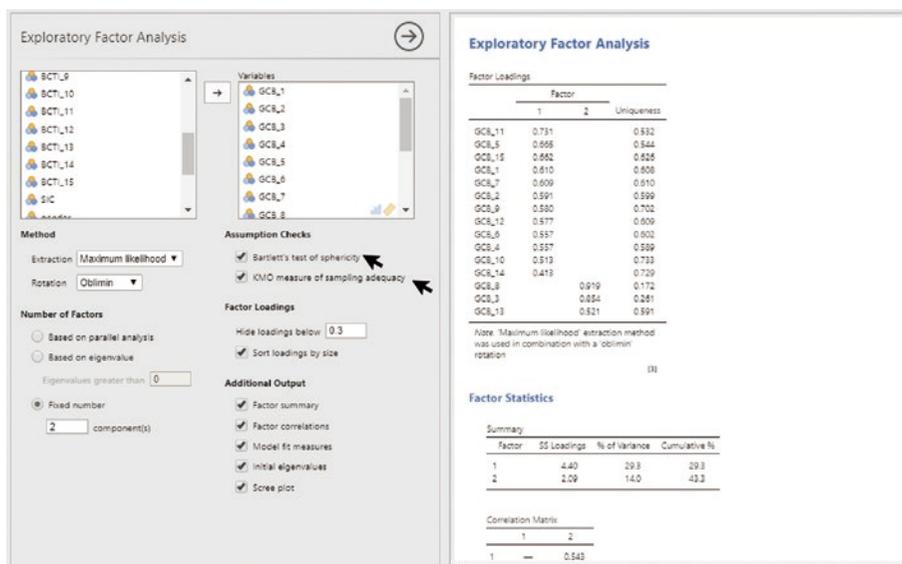


Figure 8 Exploratory factor analysis

Loadings) の表示オプション, その他の出力 (Additional Output) 設定オプションがある。

まずは, 因子分析に先立ち, 前提条件のチェックとしてバートレットの球面性検定 (Bartlett's test of sphericity), および Kaiser-Meyer-Olkin の標本妥当性 (KMO measure of sampling adequacy) のチェックを付けてみよう。球面性検定の結果は  $p < .001$  であり因子分析が適当であること, また, KMO の値は全体 (Overall) で 0.89 であり, 高い標本妥当性を有していることがわかる。

次に因子抽出であるが, Majima and Nakamura (2020) に従って, 抽出方法を最尤法 (Maximum Likelihood), 回転方法を斜行回転である Oblimin 法とする。因子数は原著に従って 2 とするが, 平行分析 (parallel analysis) や固有値 (eigenvalue) 基準, さらに後述するスクリー図を見て決定することも可能である。

因子負荷量の表示では, 負荷量が一定の値 (デフォルトでは 0.3) 未満であるものを非表示とするようになっていいる。また, 因子負荷量の値によって項目を並べ替えることも可能である (その場合は, Sort loadings by size にチェックを入れる)。

その他の出力の出力内容は以下の通りである。まず, 因子の要約 (Factor summary) では, 各因子の因子負荷平方和 (SS Loadings), 説明率 (% of Variance), 累積説明率 (Cumulative %) が示される。また, 因子間相関 (Factor correlations) にチェックを付けると因子間の相関係数が算出される。適合度 (Model fit measures) にチェックを付けると, RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) とその 90% 信頼区間, タッカー・ルイス指標 (TLI), ベイズ情報量規準 (BIC), カイ 2 乗値と検定結果が示される。固有値の初期値 (Initial

eigenvalues) にチェックを付けると固有値が因子数順に並べられて表示される。スクリープロット (Scree plot) にチェックを付けるとスクリープロットが表示される。

次に, 確証的因子分析も試してみよう。確証的因子分析は Survey1\_CFA.csv を用いる。確証的因子分析は, Analyses タブの Factor メニューから Confirmatory Factor Analysis を選択する。ここでは, 探索的因子分析で見いだされた二因子構造 (GCB\_3, 8, 13 が因子 2 に, 残りは因子 1 に寄与する) について確証的因子分析を実施する。確証的因子分析では, 因子構造をユーザー側で設定する必要があるため, 第一因子に GC, 第二因子に ETC という名称を付け, 各因子に項目を割り当てていく。まず, デフォルトでは, 第一因子の名前が Factor 1 になっているので, ここをクリックし, GC と入力する。因子名を決定したら, 因子に属する変数 (GCB\_3, 8, 13 以外の 12 個) を順に因子名下のボックスにドラッグ・アンド・ドロップする。次に, Add New Factor をクリックして 2 つ目の因子を追加し, 因子 1 と同様に因子名と変数の設定を行う (Figure 9)。

確証的因子分析の設定項目も多数ある。残差共分散 (Residual Covariances) では, 観測変数間の共分散を指定する。オプション (Options) では欠測値の処理方法とモデル推定の制約を指定する。推定値 (Estimates) では出力する推定値の種類を指定する。適合度 (Model Fit) では出力する適合度を選択する。追加出力 (Additional Output) ではモデル精度を向上させる指標と, パス図の出力を行うことができる。今回は, オプションから, 欠測値の処理をリストワイズ処理 (Exclude cases listwise) とし, モデル推定にあたって 1 番目の観測変数の係数を 1 に固定 (Scale factor = scale first indicator) するという制約をおく。また, 出力する推定値に, 各係数の標準化推定値 (Standardized

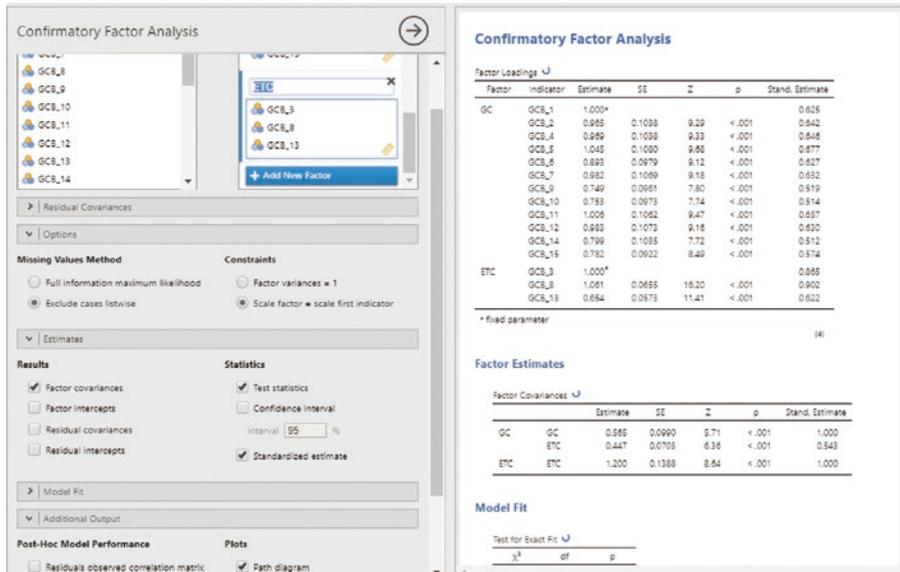


Figure 9 Confirmatory factor analysis

estimate) を出力する。さらに、追加出力としてパス図 (Path diagram) を出力する。

複数のモデルに対して確証的因子分析を行う場合は、それぞれのモデルごとに確証的因子分析を繰り返せばよい。

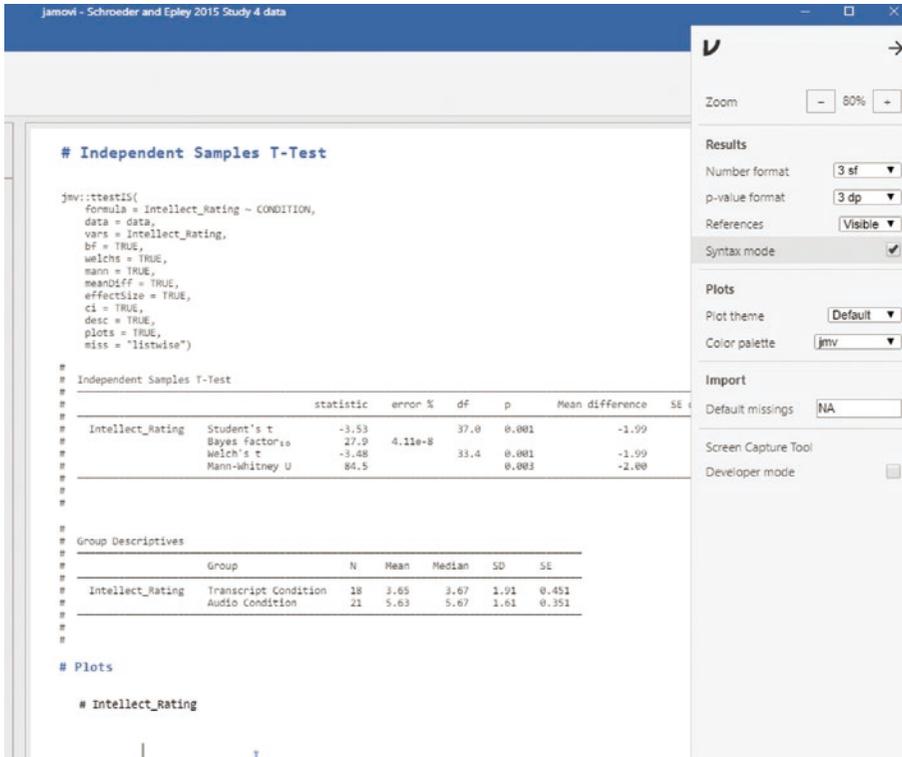
### 3 結論

#### 3.1 社会科学領域における統計教育導入ツールとしてのjamovi

本稿では、社会科学領域における統計教育の導入ツールとして、初学者にも扱いやすいGUIインターフェースを備えたオープンソース・ソフトウェアであるjamoviについて紹介し、jamoviを用いた分析の例を提示した。ここでの選択基準は、ソフトウェアで教育を受けた学生が将来的に統計分析にも携わることができるようオープンソース・ソフトウェアであること、また、最新の統計分析技法に対応していること、一方で、初学者の学習コストが過大にならないよう使いやすいGUIインターフェースを有すること、という三点であった。この三点を満たすソフトウェアと

してJASPおよびjamoviの2つが選出されたが、統計分析のスタンダードになりつつあるR言語をベースに開発されているjamoviを最終的な教育ツールの候補として選定した。

本稿で紹介した分析では、直接R言語を操作して行うことはなく、またR言語そのものがユーザーの目に触れることもなかった。どのようなRコマンドが実行されているかを知りたい場合は、画面右上にある設定ボタン (縦に3つ点が並んでいるボタン) をクリックし、表示されたメニューにおいて文法モード (Syntax mode) にチェックを入れると、実行されているコマンドが表示されるようになっていく (Figure 10)。なお、jamovi内部ではjmvというjamovi用のRパッケージが動作しており、他のR言語の解説書にはない関数が使用されている。しかしながら、jmvパッケージ自体は他のR環境でも実行可能であるので、jamoviで分析に慣れた後で、jmvパッケージをインストールしたR環境に移行すると初学者でも比較的楽にRの操作に慣れることができるのではないかと期待される。その際は、jamoviで実行されたR言語

Figure 10 Independent samples *t* test run in syntax mode

のコマンドを文法モードで表示し、そのコマンドを他のR環境にコピー・ペーストして実行する、あるいは表示されたコマンドをテキストエディターで.Rという拡張子を持つファイル（Rのコマンドを記載したRスクリプト）として保存し、R環境下でスクリプトを実行するという方法もある。

さらにjamoviには拡張パッケージ（モジュール）が用意されており、その中のRj-Editor to run R code inside jamoviというモジュールをインストールすると、jamovi上で直接Rコマンドを実行することができる。なおRjでは、jamoviと一緒にインストールされるR環境と、もともとPCにインストールされているR環境を切り替えて実行することが可能なので、jamoviのR環境にはない分析（例えば、共分散構造分析はjamoviには用意されていない）をjamoviから呼び出して実行することも可能である。

jamoviのモジュールには、他にもJASPで用意されているベイズ統計手法を実行するjsqモジュールや、jamoviでのRの基礎の学習に適したBase Rモジュール等も用意されている。詳細は、設定ボタンの下にある+の形をしたModulesボタンをクリックすると、利用可能なモジュールの一覧が表示されるので、それぞれのモジュールの説明を読むか、jamoviのプロジェクトサイトを参照していただきたい。

以上、本稿で述べたようにjamovi（あるいは、Rとの接続を考えなければJASP）というオープンソースのGUIを備えた統計分析ソフトウェアは、これまで使われてきた有償のプロプライエタリ・ソフトウェアに勝るとも劣らない、むしろプロプライエタリ・ソフトウェアを凌駕するメリット（経済的コスト、および教育効果の継続性）があると言える。さらに、JASP、jamovi共にSPSSと非

常に良く似たインターフェースを持っており、SPSSでの操作に慣れているユーザーにとっては移行が容易であるという点もメリットであると言える。一方で、JASP, jamovi 共に、日本語化されていないという点はデメリットと言えなくもない。しかしながら、分析の実行や結果の確認に困難を来すほど難しい英語が使われているわけでは無く、プロプライエタリ・ソフトウェアにおける日本語ローカライズでもしばしば誤訳があるなど必ずしも完璧に行われていないことを考えると、決定的なデメリットであるとは言えない。本稿では紙幅の都合もあり全ての分析メニューを紹介していないが、Table 1にも示されている通り、ここで紹介した分析以外でも、対応のある2群の平均値差の検定、分散分析（共分散分析、多変量分散分析を含む）、ロジスティック回帰、カイ2乗検定、対数線形回帰、主成分分析等を行うことができる。ただし、JASPでは共分散構造分析（Structural Equation Modelling）はできるものの、jamoviでは現時点では不可能である。今後の開発が待たれる。

また、jamoviには、プロプライエタリ・ソフトウェアに比べると、初学者が利用可能な日本語の書籍がないという点も現時点でのデメリットではある。しかしながら、jamoviにはLearning statistics with jamovi (Navarro & Foxcroft, 2018) というクリエイティブコモンズ・ライセンスで提供される無料の良質なガイドブックがあり、これは日本語訳もされている<sup>iii</sup>。なお、このガイドブックは単なるソフトウェアの解説書ではなく、統計の基本的な概念の説明も行われており、無料の統計教育教材として優れた内容となっている。そのため、このガイドを参照しながら、実際に jamoviの操作を行うことで、初学者ユーザーでも、それほど苦勞せずソフトウェアの利用に習熟することができると思われる。

### 3.2 R言語との関係

本稿で紹介したjamoviは、R言語をベースにしており、Rjモジュールを使うことでR言語を直接利用することができるようになっている。しかしながら、jamoviでは、必ずしもR言語そのものの利用が容易であるとは言えない。R言語は、多彩な分析手法がパッケージとして提供されており、さらに出版用途にそのまま使える強力な作図・作表機能や、Markdownを使ったレポート作成機能もあり（使い方次第では論文作成すら可能、例えば、Bauer, 2018；高橋, 2018）、単なる統計ソフトウェアの枠を越えた統合的な解析環境として進化してきている。ただし、これらの機能の活用は、R単体で実行するのではなく、RStudioというソフトの併用が前提となっている。しかしながら、いかにRStudioがコマンド補完を含んださまざまな機能を有しているとは言え、多くの社会科学系の初年次学生がそうであるようにコンピュータ・リテラシーがそこまで高くなく、PCの利用やプログラミングの経験が少ない初学者にとって、R言語を直接的に操作することへの心理的なハードルが高いことは想像に難くない。それに比べると、多くのプロプライエタリ・ソフトウェアで採用されているCUIを極力廃したグラフィカル・インターフェースを基本とするスタイルは、多くの初学者ユーザーにとって参入のハードルを下げることは確かであろう。一方で、既に繰り返し述べているように、高額なプロプライエタリ・ソフトウェアは個人購入が現実的では無く、教育期間中の学外使用および卒業・修了後の継続的な使用が難しいため、教育効果の継続性という点で問題を抱えている。その意味において、本稿で提案する通り、まずは使いやすいGUIインターフェースを持つオープンソース・ソフトウェアで統計分析の基礎とソフトウェアの操作を学習し、その後、必要に応じてより高度な解析環境に移行するアプローチ、特

にR言語との接続性を考えてjamoviを統計教育の導入的ツールとして使用するアプローチが有効であると思われる。しかしながら、jamoviを用いた統計教材の整備はまだ十分ではなく、またjamoviを用いた統計教育の有効性の効果測定も行われてはいない。今後は、教材の整備を進めるとともに、その教育効果の測定を進めていく必要がある。

## 謝辞

本研究は、2019年度北星学園大学特定研究費（共同研究費、代表者：眞嶋 良全）の支援を受けた。

## 文献

- Bauer, P. C. (2018). Writing a reproducible paper in R markdown. *SSRN Electric Journal*. doi: 10.2139/ssrn.3175518
- Cimpian, A. (2015). The inherence heuristic: generating everyday explanations. In R. A. Scott & S. M. Kosslyn (Eds.), *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences* (pp. 1-15).
- Gelman, A., & Loken, E. (2014). The statistical crisis in science. *American Scientist*, 106, 460-465. doi: 10.1511/2014.111.460
- 南風原朝和 (2014). 統・心理統計学の基礎—統合的理解を広げ深める。有斐閣。
- 南風原朝和 (2018). 心理統計の新しい展開と今後の統計教育。心理学評論, 61, 142-146.
- 堀 裕亮 (2017). 心理学を専攻する学生への統計教育はどうあるべきか。心理学評論, 60, 230-234.
- Majima, Y., & Nakamura, H. (2020). Development of the Japanese version of the Generic Conspiracist Beliefs Scale (GCBS-J). *Japanese Psychological Research*. doi: 10.1111/jpr.12267
- 三浦麻子・岡田 謙・清水裕士 (2018). 統計革命：Make statistics great again—特集号の刊行にあたって—。心理学評論, 61, 1-2.
- Muenchen, B. (2019). Is scholarly use of R use beating SPSS already? Retrieved from <https://www.r-bloggers.com/is-scholarly-use-of-r-use-beating-spss-already/>

- Navarro, D., & Foxcroft, D. (2018). *Learning statistics with jamovi: A tutorial for psychology students and other beginners (Version 0.70)*. Retrieved from <https://www.learnstatswithjamovi.com/> doi: 10.24384/hgc3-7p15
- 大久保街垂 (2016). 帰無仮説検定と再現可能性。心理学評論, 59, 57-67.
- Open Science Collaboration. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349 (6251), aac4716. doi: 10.1126/science.aac4716
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing.: R Foundation for Statistical Computing, Vienna: Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Schroeder, J., & Epley, N. (2015). The sound of intellect: Speech reveals a thoughtful mind, increasing a job candidate's appeal. *Psychological Science*, 26, 877-891. doi: 10.1177/0956797615572906
- 高橋康介 (2018). 再現可能性のすゝめ—RStudioによるデータ解析とレポート作成。共立出版。
- 友永雅己・三浦麻子・針生悦子 (2016). 心理学の再現可能性：我々はどこから来たのか我々は何者か 我々はどこへ行くのか—特集号の刊行に寄せて—。心理学評論, 59, 1-2.
- Tworek, C. M., & Cimpian, A. (2016). Why do people tend to infer “ought” from “is”? The role of biases in explanation. *Psychological Science*, 27, 1109-1122. doi: 10.1177/0956797616650875

## 脚注

- <sup>i</sup> オープンソースソフトウェアは、その名の示す通り、ソフトウェアのソースコードが公開（オープン）されているものを指し、無償であることを意味するフリーソフトウェアとオープンソース・ソフトウェアは必ずしもイコールではない。しかしながら、両者の違いを詳細に論じることは本稿の目的ではないため、ここでは再配布や派生物の自由な利用を含む、ソースコード全体の自由な利用を保証するオープンソース・ソフトウェアと、利用に費用がかからないフリーソフトウェアを特

- に区別しない。
- ii 拡張モジュールをインストールすることで可能になる。
  - iii 日本語訳 (jamoviで学ぶ心理統計) は, 芝田 征司による。<https://bookdown.org/sbtseiji/lswjamovi/>

