

心理学統計演習

Koji Kosugi

Table of contents

第 1 章	はじめに	7
第 2 章	ライセンス等	9
第 3 章	はじめよう R/RStudio	11
3.1	環境の準備	11
3.1.1	R のインストール	11
3.1.2	RStudio のインストール	12
3.1.3	環境の準備に関する導入サイト	12
3.2	RStudio の基礎 (4つのペイン)	13
3.2.1	領域 1 ; エディタ・ペイン	14
3.2.2	領域 2 ; コンソール・ペイン	15
3.2.3	領域 3 ; 環境ペイン	15
3.2.4	領域 4 ; ファイルペイン	15
3.2.5	その他のタブ	16
3.3	R のパッケージ	16
3.4	RStudio のプロジェクト	17
3.5	課題	18
第 4 章	R の基礎	21
4.1	R で計算	21
4.2	R の関数	21
4.3	オブジェクトの型	21
4.4	変数の型	21
4.5	外部ファイルの読み込み	21
第 5 章	R によるデータハンドリング	23
5.1	tidyverse の導入	23
5.2	パイプ演算子	23
5.3	変数を作る	23
5.4	行選択と列選択	23
5.5	ロング型とワイド型	23
5.6	データ整形課題	23

第 6 章	R によるレポートの作成	25
6.1	Rmd/Qmd の使い方	25
6.2	プロットによる基本的な描画	25
6.3	ggplot による描画	25
6.4	各種 geom の練習	25
6.5	ggplot オブジェクトを並べる	25
6.6	テーマの変更 (レポートに合わせる)	25
第 7 章	R でプログラミング	27
7.1	代入	27
7.2	反復	27
7.3	条件分岐	27
7.4	さまざまな乱数	27
7.5	確率分布の関数	27
第 8 章	確率とシミュレーション	29
8.1	サンプリング関数	29
8.2	期待値と分散のシミュレーション	29
8.3	母集団と標本	29
8.4	一致性	29
8.5	不偏性	29
8.6	有効性	29
第 9 章	統計的仮説検定の論理とエラー	31
9.1	帰無仮説検定の論理	31
9.2	相関係数の検定	31
9.3	標本相関係数の分布	31
9.4	2 種類の検定のエラー確率	31
第 10 章	平均値差の検定	33
10.1	一標本検定	33
10.2	二標本検定	33
10.3	二標本検定 (ウェルチの補正)	33
10.4	対応のある二標本検定	33
10.5	レポートを書くような課題	33
第 11 章	平均値差のシミュレーション	35
11.1	一標本検定のシミュレーション	35
11.2	二標本検定のシミュレーション	35
11.3	ウェルチの補正は補正できてるか	35
11.4	対応のある二標本検定のシミュレーション	35
第 12 章	R によるデータハンドリング	37

12.1	外部ファイルの読み込み	37
12.2	tidyverse の導入	37
12.3	パイプ演算子	37
12.4	変数を作る	37
12.5	行選択と列選択	37
12.6	ロング型とワイド型	37
12.7	データ整形課題	37
第 13 章	R によるデータハンドリング	39
13.1	外部ファイルの読み込み	39
13.2	tidyverse の導入	39
13.3	パイプ演算子	39
13.4	変数を作る	39
13.5	行選択と列選択	39
13.6	ロング型とワイド型	39
13.7	データ整形課題	39
第 14 章	R によるデータハンドリング	41
14.1	外部ファイルの読み込み	41
14.2	tidyverse の導入	41
14.3	パイプ演算子	41
14.4	変数を作る	41
14.5	行選択と列選択	41
14.6	ロング型とワイド型	41
14.7	データ整形課題	41
第 15 章	R によるデータハンドリング	43
15.1	外部ファイルの読み込み	43
15.2	tidyverse の導入	43
15.3	パイプ演算子	43
15.4	変数を作る	43
15.5	行選択と列選択	43
15.6	ロング型とワイド型	43
15.7	データ整形課題	43
Appendices		45
付録 A	はじめよう R/RStudio	45
A.1	環境の準備	45
A.1.1	R のインストール	45
A.1.2	RStudio のインストール	46
A.1.3	環境の準備に関する導入サイト	46

A.2	RStudio の基礎（4つのペイン）	47
A.2.1	領域 1；エディタ・ペイン	48
A.2.2	領域 2；コンソール・ペイン	49
A.2.3	領域 3；環境ペイン	49
A.2.4	領域 4；ファイルペイン	49
A.2.5	その他のタブ	50
A.3	R のパッケージ	50
A.4	RStudio のプロジェクト	51
A.5	課題	52
付録 B	R の基礎	55
B.1	R で計算	55
B.2	R の関数	55
B.3	オブジェクトの型	55
B.4	変数の型	55
B.5	外部ファイルの読み込み	55
付録 C	R によるデータハンドリング	57
C.1	tidyverse の導入	57
C.2	パイプ演算子	57
C.3	変数を作る	57
C.4	行選択と列選択	57
C.5	ロング型とワイド型	57
C.6	データ整形課題	57

第 1 章

はじめに

この資料は、授業「心理学統計演習」についてのものです。演習という授業名にあるように、理論的な解説で「理解して進む」ことよりも、「手を動かして理解する」ことを目的にしています。

この資料を活用する人は、理論的な (いわゆる座学の) 心理学統計を履修済みであることを前提にしています。また、資料集という位置付けですので、行間の説明が省略されていることが多くあります。その点は講義時間中の講話で補完していくつもりですので、不明な点があれば授業時間中に質問してください。

第 2 章

ライセンス等

この資料は Creative Commons BY-SA(CC BY-SA) ライセンス Version 4.0 に基づいて提供されています。著者に適切なクレジットを与える限り、この本を再利用、再編集、保持、改訂、再頒布 (商用利用を含む) をすることができます。もし再編集したり、このオープンなテキストを変更したい場合、すべてのバージョンにわたってこれと同じライセンス、CC BY-SA を適用しなければなりません。

This article is published under a Creative Commons BY-SA license (CC BY-SA) version 4.0. This means that this book can be reused, remixed, retained, revised and redistributed (including commercially) as long as appropriate credit is given to the authors. If you remix, or modify the original version of this open textbook, you must redistribute all versions of this open textbook under the same license - CC BY-SA.

第3章

はじめよう R/RStudio

「R」。この一文字で表現されるがゆえに、検索しにくいことこの上ないそれは、統計に特化したプログラミング言語であり、心理学はもちろん統計に関する学問領域で多岐にわたって利用されているものである。フリーソフトウェア、すなわち自由で開かれているソフトウェアであるから、ソースコードに至るまで公開されており、誰でも無償で利用できる。無償すなわち無料ではない。補償がないので無償なのだが、逆に金銭で計算をはじめ科学的真実性が保証されるわけではない、という至極まともな考え方は理解できるだろう。科学はもちろん、ソフトウェアも人類の共有財産として、オープンに育んでいこう。

R はコミュニティ活動も盛んで、Tokyo.R を中心に日本の各地で R ユーザからなる自主的な勉強会が開催されている^{*1}。また R 自体がインターネットを通じて公開されているように、導入から応用までさまざまな資料がオンラインで活用できる。以下では導入から解説していくが、頻繁にアップデートされるものでもあるので、必要に応じて検索し、なるべく時系列的に近い情報を吟味して活用することを薦める。

3.1 環境の準備

3.1.1 R のインストール

R のインストールに関して、初心者でも利用可能な資料がオンラインで公開されている。

R は The [Comprehensive R Archive Network](#), 通称 CRAN^{*2} というネットワークで公開されている。CRAN のトップページにはダウンロードリンクが用意されており、自分のプラットフォームにあった最新版をダウンロードしよう^{*3}。

^{*1} 2024 年 1 月現在で、Tokyo だけでなく Fukuoka, Sapporo, Yamaguchi, Iruma など地方コミュニティがあり、参加者みんなで楽しまれている。

^{*2} CRAN は「しーらん」、あるいは「くらん」と発音される。筆者はしーらん派。

^{*3} VSCode のようなエディタから使うことも可能であるし、Jupyter Notebook の計算エンジンを R にすることも可能。最近では分析ソフトウェアを個々人で準備せず、環境として提供することも一般的になってきており、例えば [Google Colaboratory](#) のエンジンを R にすることもできるようになっている。ローカル PC に自前の環境を作ることが、時代遅れになる日も近いかもしれない。

3.1.2 RStudio のインストール

R のインストールが終われば、次は RStudio をインストールしよう。RStudio は総合開発環境 (IDE) と呼ばれるものである。R は単体で、統計の分析や関数の描画など、専門的な利用に耐えうる分析機能を有している。その本質はもちろん計算機能であって、計算を実行する命令文 (スクリプト) を与えれば、必要な返答をあたえてくれる。このように分析の本質が計算機能であったとしても、実際の分析活動に際しては、スクリプトの下書きと清書、入出力データや描画ファイルの生成・管理、パッケージ (後述) の管理など、分析にまつわるさまざまな周辺活動が含まれる。喩えるなら料理の本質が包丁・まな板・コンロによる加工であったとしても、実際の調理に際しては、広い調理スペースや使いやすいシンク、ボウルやタッパーなどの補助的な調理器具があった方がスムーズにことが進む。いわば、R 単体で分析をするのは飯盒炊爨のような必要最低限かつワイルドな調理法であり、RStudio は総合的な調理環境を提供してくれるものなのである。

繰り返しになるが、本質的には R 単体で作業が可能である。なるべく単純な環境を維持したいというのであれば R 単体での利用を否定するものではないが、RStudio はエディタや文書作成ソフトとしても有用であるので、本授業では RStudio を使うことを前提とする^{*4}。

3.1.3 環境の準備に関する導入サイト

以下に執筆時点 (2024 年 1 月) で参照可能な、導入に関する Web 教材を挙げておく。自分に合ったものを適宜参照し、R と RStudio を自身の PC 環境に導入してほしい。もちろん自身で「R RStudio インストール」などとして検索しても良いし、chatGPT に相談しても良い。

3.1.3.1 For Windows

- ・ 東京大学・大学院農学生命科学研究科アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラムによる [PDF 資料](#)
- ・ [初心者向け R のインストールガイド](#)
- ・ 関西学院大学商学部土方ゼミ [資料](#)
- ・ 多摩大学情報社会研究所・応用統計学室 [資料](#)
- ・ 奥村晴彦先生の [ページ](#)

3.1.3.2 For Macintosh

- ・ 東京大学・大学院農学生命科学研究科アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラムによる [PDF 資料](#)
- ・ [note の記事](#)
- ・ いちばんやさしい、医療統計 [記事](#)

^{*4} VSCode のようなエディタから使うことも可能であるし、Jupyter Notebook の計算エンジンを R にすることも可能。最近では分析ソフトウェアを個々人で準備せず、環境として提供することも一般的になってきており、例えば [Google Colaboratory](#) のエンジンを R にすることもできるようになっている。ローカル PC に自前の環境を作るということが、時代遅れになる日も近いかもしれない。

なお、Mac の場合は Homebrew などのパッケージ管理ソフトを使って導入することもできる（し、そのほうがいい）。その場合は以下の資料を参照。

- ・ 群馬大学大学院医学系研究科機能形態学の[記事](#)
- ・ コアラさばお氏の [note 記事](#)
- ・ Ryu Takahashi 氏の [Qiita 記事](#)
- ・ Yuhki Yano 氏の [Qiita 記事](#)

3.2 RStudio の基礎（4つのペイン）

ここまでで、R および RStudio を利用する準備が整っているものとする。

さて、RStudio を起動すると大きくわけて 4 つの領域に分かれた画面が出てくる。この領域のことをペインと呼ぶ。図中の「領域 1」がないように見えるときもあるが、下のペインが最大化され折りたたまれているだけなので、ペイン上部のサイズ変更ボタンを操作することで出てくるだろう。

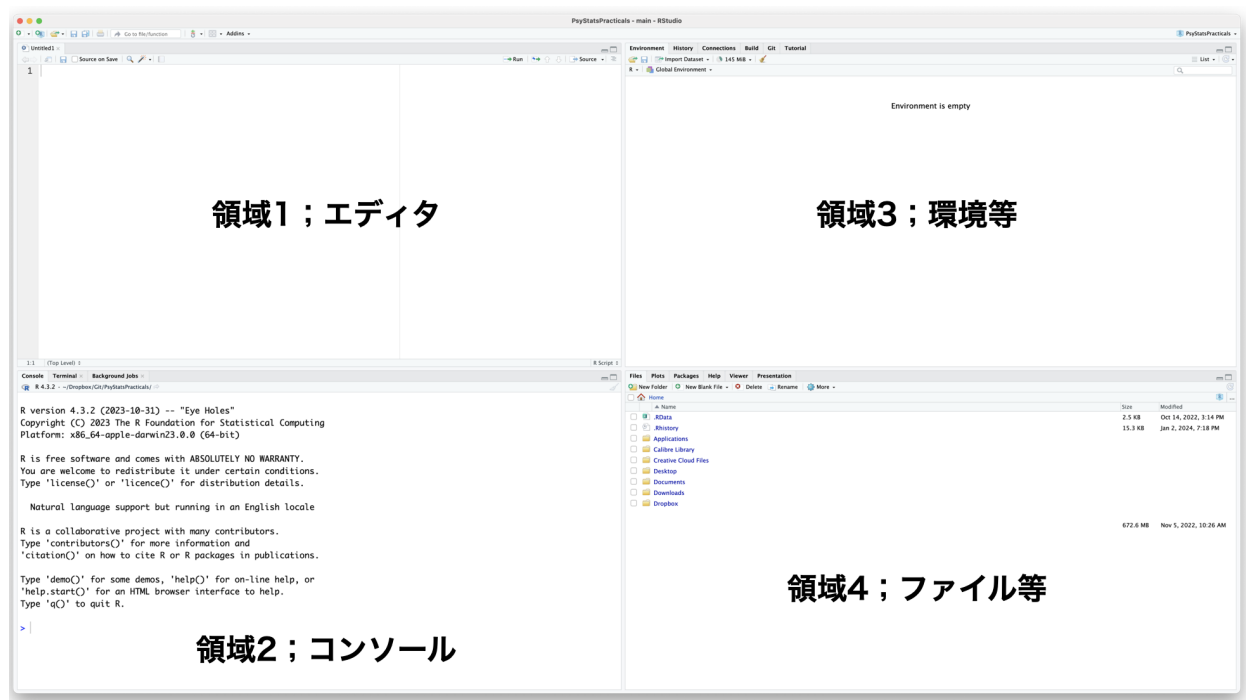


Figure3.1: RStudio の初期画面

このペインのレイアウトは、メニューの Tools > Global Options... > Pane Layout から変更することもできる。基本的に 4 分割であることに変わりはないが、自分が利用しやすい位置にレイアウトを変更するとよい。

以下、各ペイン (領域) が何をするところかを簡単に解説する。

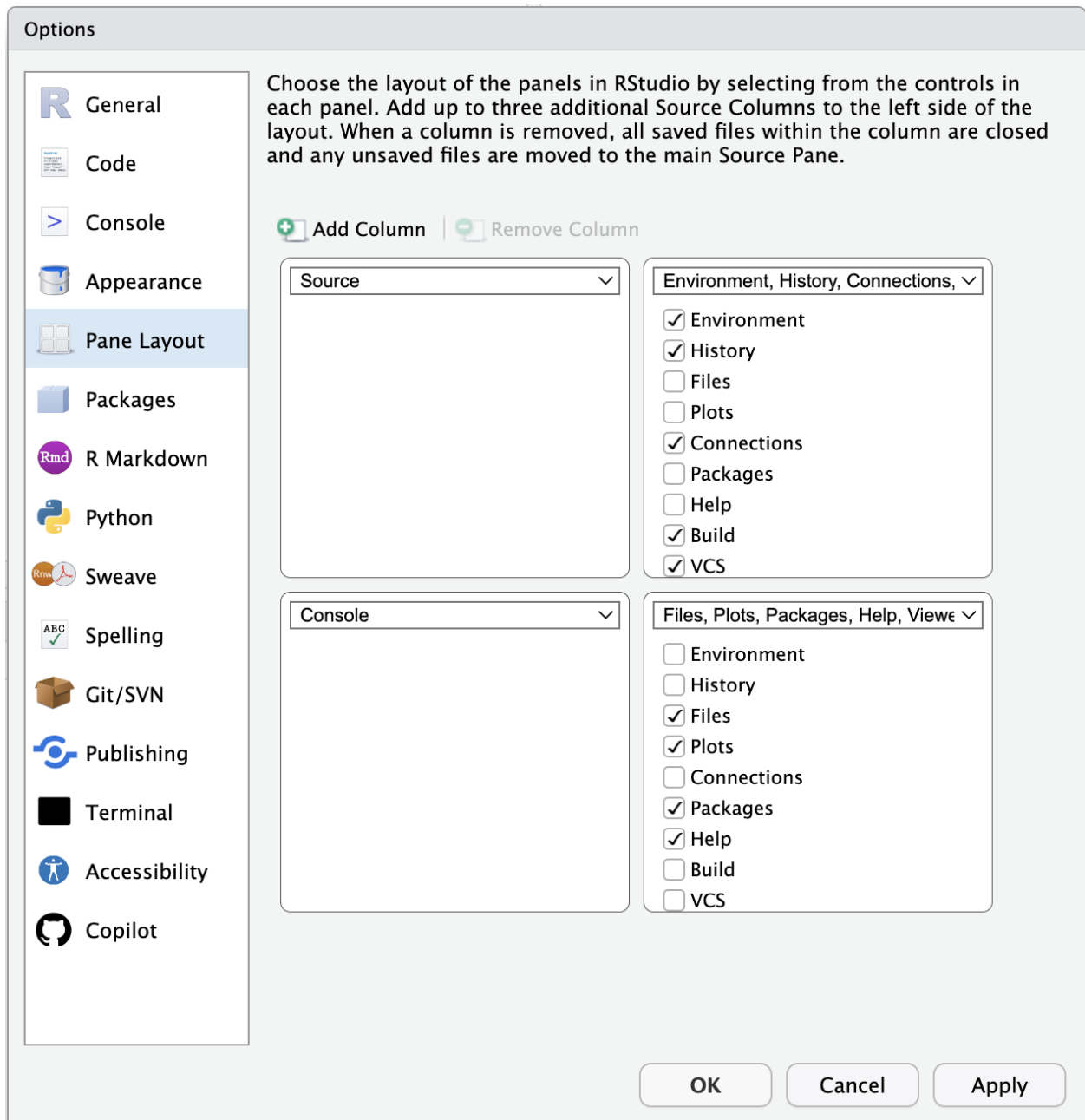


Figure3.2: レイアウト変更画面。このほかにも背景色などを変えることもできる

3.2.1 領域 1；エディタ・ペイン

エディタ領域。R のスクリプトはもちろん、レポートの文章など、基本的に入力するときはこのペインに書く。ここで作業するファイルの種類は、File > New File から見ると明らかなように、R 言語だけでなく C 言語、Python 言語などのスクリプトや、Rmd, md,Qmd,HTML などのマークアップ言語、Stan や SQL など特殊な言語などにも対応している。ペインの右下に現在開かれているファイルの種類が表示されているのを確認しておこう。

R 言語でスクリプトを書く例で解説しよう。R は命令を逐次実行していくインタプリタ形式であり、ここに記述された R コードを、右上の Run ボタンでコンソールに送って計算を実行するように使う。一回の命令をコマンド、コマンドが積み重ねられた全体をスクリプト、あるいはプログラムと呼ぶ。複数のコマンドを実行したい場合は、エディタ領域で複数行選択して Run ボタンを、スクリプトファイル全体を実行したいときは Run ボタンのとなりにある Source を押す。CTRL+Enter(Mac の場合はコマンド +Enter) で Run ボタンのショートカットになる。

3.2.2 領域 2；コンソール・ペイン

R 単体で利用する場合は、このペインだけを利用するようなものである。すなわち、ここに示されているのが R 本体というか、R の計算機能そのものである。ここに「>」の記号が表示されているところをプロンプトといい、プロンプトが表示されているときは R が入力待ちの状態である。

R は逐次的に計算を行うので、プロンプトのある状態でコマンドを入力すると計算結果が返される。ここに直接コマンドを書いて行っても良いが、書き間違えたりすることもあるし、コマンドが複数行に渡ることが一般的になってくるので、エディタ領域に清書するつもりで記述していったほうがよい。ごくたまに、一時的に確認したいことがある時だけ、直接コンソールを触るようにすると良い。

なお、コンソールを綺麗にしたいときは右上の箒ボタンをおすとよい。

3.2.3 領域 3；環境ペイン

基本的にこのペインと次の領域 4 のペインは複数のタブが含まれる。Pane Layout でどちらにどのタブを含めるかを自分好みにカスタマイズすることもできる。ここでは代表的な 2 つのタブについてのみ言及する。

Environment タブは、R の実行メモリ内に保管されている変数や関数などが表示されている。「変数や関数など」をまとめて**オブジェクト**というが、ここで内容や構造を GUI で確認することができる。

History タブは履歴である。これまでコンソールに送られてきたコマンドが順に記録されている。History タブからエディタ、コンソールにコマンドを送ることも可能であり、「さっきの命令をもう一度実行したい」といったときに参照すると良い。

3.2.4 領域 4；ファイルペイン

ここでも代表的なタブについてのみ解説する。

Files タブは Mac である Finder、Windows であるエクスプローラーのような、ファイル操作画面である。フォルダの作成、ファイルの削除、リネーム、コピーなどの操作が可能である。

Plot タブは R コマンドで描画命令が出された時の結果がここに表示される。RStudio の利点の一つは、この Plot から図をファイルに Export することが可能であり、その際にファイルサイズやファイル形式を指定できるところにある。

Packages タブは読み込まれているパッケージ、(読み込まれていないが) 保管しているパッケージのリストが

表示されている。新しくパッケージを導入するときも、ここの `install` ボタンから可能であり、保管しているパッケージのアップデートもボタンひとつで可能である。なお、パッケージについては後ほど言及する。

Help タブは R コマンドでヘルプを表示する命令 (`help` 関数) が実行された時の結果が表示される領域である。ヘルプを使うことで関数の引数、戻り値、使用例などを参照できる。

3.2.5 そのほかのタブ

そのほか、表示の有無もオプションになっているようないくつかのタブについて、簡単に解説しておく。

Connections タブは R を外部データベースなどに繋げるときに参照する。大規模データをローカルにすべて取り込むことなく、SQL で必要なテーブルだけ取り出すといった操作をする際は必要になってくるだろう。

Git タブは R、とくに R プロジェクト (後述) のバージョンを管理するときを利用する。Git とは複数のプログラマによって同時並行的にプログラムを作っていく時の管理システムである。時系列的な差分の記録を得意とするシステムなので、レポートの作成時などに応用すればラボノートの記録としても利用できる。

Build タブは R パッケージや Web サイトを構築するときを利用する。なおこの資料も RStudio を利用して作られており、資料を生成 (原稿から HTML や PDF にする) ときにはこのタブを利用している。

Tutorial タブはチュートリアルツアーを楽しむ時のタブである。

Viewer タブは RStudio で作られた HTML や PDF などを見るためのタブである。

Presentation タブは RStudio で作られたプレゼンテーションを見るためのタブである。

Terminal タブは Windows/Mac でいう Terminal, Linux でいう端末についてのタブであり、R に限らず、コマンドラインを通じて OS に命令するときを使う。

Background Jobs タブはその名の通りバックグラウンドで作業をさせるときに利用する。R は基本的にシングルコアで計算が実行されるが、このタブを使ってスクリプトファイルをバックグラウンドで実行することで並列的に作業が可能になる。

3.3 R のパッケージ

R は単体でも線型モデルなどの基本的な分析は可能であるが、より進んだ統計モデルを利用したい場合は専門のパッケージを導入することになる。パッケージとは関数群のことであり、これも CRAN や Github などインターネットを介して提供されている。ちなみに提供されているパッケージは、CRAN で公開されているものだけで 344,607 件あり^{*5}、Github^{*6}で公開されているものなど、CRAN を介さないパッケージも少なくない。

^{*5} 2024 年 01 月 18 日調べ

^{*6} Git はバージョン管理システムであるが、これをインターネット上のサーバ (レポジトリ) で行うものを Github という。RStudio は Github と連携しており、プロジェクトを Github と紐づけることで簡単にバージョン管理ができる。しかもここで言及しているように、Github 上でパッケージを公開することもできるので、最近 CRAN の校閲を待たずに公開できる Github が好まれている側面もある。

パッケージを利用する際は、まずローカルにパッケージファイルをインストールしなければならない。その上で、R を起動するごとに (セッションごとに)、関数 `library` でパッケージを呼び出して利用する。インストールを毎回行う必要はないことに注意。

インストールは R のコマンドでも可能だが、RStudio の Packages ペインを使って導入するのが簡単だろう。以下に、一部の有名かつ有用なパッケージ名とその簡単な説明を挙げる。本講義の中で使うものもあるので、事前に準備しておくことが望ましい。

- tidyverse パッケージ [5] ; R が飛躍的に使いやすくなったのは、この tidyverse パッケージ導入以後のことである。開発者の Hadley Wickham は R 業界で神と崇められており、R 業界に与えたインパクトは大きい。このパッケージは「パッケージ群」「パッケージのパッケージ」であり、tidyverse とは tidy な (整然とした)verse(世界) というような意味合いである。このパッケージは統計分析モデルを提供するものではなく、その前のデータの**前処理**に関する便利な関数を提供する^{*7}。このパッケージをインストールすると、関連する依存パッケージが次々取り込まれるので、少々時間がかかる。
- psych パッケージ [3] ; 名前の通り、心理学統計に関する統計モデルの多くが含まれている。特に特殊な相関係数や、因子分析モデルなどは非常に便利なので、インストールしておいて間違いない。
- GPARotation パッケージ [1] ; 因子分析における因子軸の回転に使うパッケージ。
- styler パッケージ ; スタイルを整えてくれるパッケージ。スクリプトの清書に便利。
- lavaan パッケージ [4] ; 潜在変数を含んだモデル (LATent VArIable ANalysis) の分析、要するに構造方程式モデリング (Structural Equation Modeling;SEM, 共分散構造分析ともいう) を実行するパッケージ。
- ctv パッケージ [6]; CRAN Task Views の略で、膨大に膨れ上がった CRAN から必要なパッケージを見つけ出すのは困難であることから、ある程度のジャンルごとに関連しそうなパッケージをまとめて導入してくれるのがこのパッケージ。例えば、このパッケージをインストールした後で、`install.views("Psychometrics")` とすると、心理統計関係の多くのパッケージを次々導入してくれる。
- cmdstanr パッケージ [2] ; 複雑な統計モデルで利用される、確率的プログラミング言語 stan を R から使うことができるようになるパッケージ。導入にはこのパッケージの他にも stan やコンパイル環境の準備が必要なので、[公式の導入サイト](#)も参考にしてほしい。

3.4 RStudio のプロジェクト

実際に R を使っていく前に、最後の準備として RStudio におけるプロジェクトについて解説しておく。

みなさんも、PC をつかって文書を作ったり保管したりするときに、フォルダにまとめて入れておくことがあるだろう。フォルダは例えば「文書」>「心理学」>「心理学統計演習」のように階層的に整理することが一般的で、そうしておくことで必要なファイルをすぐに取り出すことができる。

逆に言えば、こうしたフォルダ管理をしておかなければファイルが PC のなかで散乱してしまい、必要な情報を

^{*7} 実は統計データの解析にかかる時間のほとんどが、解析に適切な形にデータを整形する「前処理」に費やされる。前処理、別名データハンドリングをいかに上手く、素早く、直感的にできるかは、その後の分析にも影響するほど重要な手順であるため、tidyverse パッケージの登場はありがたかった。これを使ったデータハンドリングだけの専門書 [7] が重宝されるほどである。

得るために逐一 PC の中身を検索しなければならないだろう。

R/RStudio を使った分析実践の場合も同様で、一回のテーマについて複数のファイル (スクリプトファイル、データファイル、画像ファイル、レポートなど文書ファイル等々) があり、シーンに合わせて (例えば「授業」「卒論」など) フォルダで管理することになる。

さらに、PC 環境には作業フォルダ (Working Directory)^{*8} という概念がある。たとえば R/RStudio を起動・実行しているときに、R が「今どこで」実行されているか、どこを管理場所としているか、を表す概念である。例えばこの作業フォルダの中に `sample.csv` というファイルがあって、それをスクリプト上から読み込みたい、というコマンドを実行するのであれば、そのままファイル名を書けば良い。しかし別の場所にそのファイルが保存されているのなら、作業フォルダから見た相対的な位置を含めて指示してやるか (相対パス)、あるいは PC 環境全体からみた絶対的な位置を含めて (絶対パス) 指示してやる必要がある。相対・絶対パスの違いは、「ここから二つ目の角を右」のように指示するか、住所で指示するかの違いであると考えれば良い。

ともあれ、この作業フォルダがどこに設定されているかは、実行するときに常に気にしていなければならない。ちなみにこの作業フォルダは、RStudio のファイルペイン・Files タブでひらいているところとは限らないことに注意してほしい。GUI 上でエクスプローラ/Finder で開いたからといって、作業フォルダが自動的に切り替わるようにはなっていない。

そこで RStudio のプロジェクトである。RStudio には「プロジェクト」という概念があり、作業フォルダや環境の設定などをそこで管理することができる。新しくプロジェクトを始めるときは `File>New Project`、すでに一度プロジェクトを作っているときは `File > Open Project` としてプロジェクトファイル (拡張子が `.proj` のファイル) を開くようにする。そうすると、作業フォルダが当該フォルダに設定される。プロジェクトを Git に連携しておくともバージョン管理などもフォルダ単位で行える。

以後、本講義で外部ファイルを参照する場合、プロジェクトフォルダの中にそのファイルがあるものとして (パスを必要としない形で) 論じるので注意されたし。

3.5 課題

- ・ R の最新版を CRAN からダウンロードし、自分の PC にインストールしてください。
- ・ RStudio の Desktop 版を [Posit 社のサイト](#) からダウンロードし、自分の PC にインストールしてください。
- ・ RStudio を起動し、ペインレイアウトをデフォルトではない状態に並べ直してみてください。ソースペインを 3 列にするのも良いでしょう。
- ・ コンソールペインに書かれている文字を全て消去してみてください。
- ・ ファイルペインにある Files タブをつかって、色々なフォルダを開けてみたり、不要なファイルを削除したり、ファイル名を変更したりしてみてください。
- ・ ファイルペインにある Files タブを開き、More のところから `Go To Working Directory` を選択・実行してください。何か起こったでしょうか。

^{*8} ここでは、フォルダとディレクトリは同じ意味であると思ってもらって良い。一般に、CUI ではディレクトリ、GUI ではフォルダという用語が好まれる。語幹 `direct` にあるように、ファイルやアクセス先など具体的な指し示す先を強調しているのがディレクトリであり、それにファイル群などまとまった容れもの、という意味を付加したのがフォルダである。フォルダの方が言葉としてわかりやすいし。

- ・ この授業のために、新しいプロジェクトを作成してください。プロジェクトは新しいフォルダでも、既存のフォルダでも構いません。
- ・ プロジェクトが開いた状態のとき、RStudio のウィンドウ・タブのどこかに「プロジェクト名」が表示されているはずです。確認してください。
- ・ またファイルペインの Files タブから、色々なファイル操作をした上で、改めて Go To Working Directory をしてください。プロジェクトフォルダの中に戻ってこれたら成功です。
- ・ 新しい R スクリプトファイルを開き、空白のままで結構ですからファイル名をつけて保存してください。
- ・ RStudio を終了あるいは最小化させ、OS のエクスプローラ/Finder から、プロジェクトフォルダに移動してください。先ほど作ったファイルが保存されていることを確認してください。
- ・ プロジェクトフォルダには、プロジェクト名+.proj というファイルが存在するはずです。これを開いて、RStudio のプロジェクトを開いてください。
- ・ RStudio の File > Close Project からプロジェクトを閉じてください。画面の細部でどこが変わったか、確認してください。
- ・ RStudio を終了し、再び RStudio を起動してください。起動の方法はプロジェクトファイルからでも、アプリケーションの起動でも構いません。起動後に、プロジェクトを開いてください (あるいはプロジェクトが開かれていることを確認してください。)。

第 4 章

R の基礎

4.1 R で計算

4.2 R の関数

4.3 オブジェクトの型

4.4 変数の型

4.5 外部ファイルの読み込み

第 5 章

R によるデータハンドリング

5.1 tidyverse の導入

5.2 パイプ演算子

5.3 変数を作る

5.4 行選択と列選択

5.5 ロング型とワイド型

5.6 データ整形課題

第 6 章

R によるレポートの作成

- 6.1 Rmd/Qmd の使い方
- 6.2 プロットによる基本的な描画
- 6.3 ggplot による描画
- 6.4 各種 geom の練習
- 6.5 ggplot オブジェクトを並べる
- 6.6 テーマの変更（レポートに合わせる）

第 7 章

R でプログラミング

7.1 代入

7.2 反復

7.3 条件分岐

7.4 さまざまな乱数

7.5 確率分布の関数

第 8 章

確率とシミュレーション

8.1 サンプル関数

8.2 期待値と分散のシミュレーション

8.3 母集団と標本

8.4 一様性

8.5 不偏性

8.6 有効性

第 9 章

統計的仮設検定の論理とエラー

9.1 帰無仮説検定の論理

9.2 相関係数の検定

9.3 標本相関係数の分布

9.4 2 種類の検定のエラー確率

第 10 章

平均値差の検定

- 10.1 一標本検定
- 10.2 二標本検定
- 10.3 二標本検定（ウェルチの補正）
- 10.4 対応のある二標本検定
- 10.5 レポートを書くような課題

第 11 章

平均値差のシミュレーション

- 11.1 一標本検定のシミュレーション
- 11.2 二標本検定のシミュレーション
- 11.3 ウェルチの補正は補正できてるか
- 11.4 対応のある二標本検定のシミュレーション

第 12 章

R によるデータハンドリング

12.1 外部ファイルの読み込み

12.2 tidyverse の導入

12.3 パイプ演算子

12.4 変数を作る

12.5 行選択と列選択

12.6 ロング型とワイド型

12.7 データ整形課題

第 13 章

R によるデータハンドリング

13.1 外部ファイルの読み込み

13.2 tidyverse の導入

13.3 パイプ演算子

13.4 変数を作る

13.5 行選択と列選択

13.6 ロング型とワイド型

13.7 データ整形課題

第 14 章

R によるデータハンドリング

14.1 外部ファイルの読み込み

14.2 tidyverse の導入

14.3 パイプ演算子

14.4 変数を作る

14.5 行選択と列選択

14.6 ロング型とワイド型

14.7 データ整形課題

第 15 章

R によるデータハンドリング

15.1 外部ファイルの読み込み

15.2 tidyverse の導入

15.3 パイプ演算子

15.4 変数を作る

15.5 行選択と列選択

15.6 ロング型とワイド型

15.7 データ整形課題

付録 A

はじめよう R/RStudio

「R」。この一文字で表現されるがゆえに、検索しにくいことこの上ないそれは、統計に特化したプログラミング言語であり、心理学はもちろん統計に関する学問領域で多岐にわたって利用されているものである。フリーソフトウェア、すなわち自由で開かれているソフトウェアであるから、ソースコードに至るまで公開されており、誰でも無償で利用できる。無償すなわち無料ではない。補償がないので無償なのだが、逆に金銭で計算をはじめ科学的真実性が保証されるわけではない、という至極まともな考え方は理解できるだろう。科学はもちろん、ソフトウェアも人類の共有財産として、オープンに育んでいこう。

R はコミュニティ活動も盛んで、Tokyo.R を中心に日本の各地で R ユーザからなる自主的な勉強会が開催されている^{*1}。また R 自体がインターネットを通じて公開されているように、導入から応用までさまざまな資料がオンラインで活用できる。以下では導入から解説していくが、頻繁にアップデートされるものでもあるので、必要に応じて検索し、なるべく時系列的に近い情報を吟味して活用することを薦める。

A.1 環境の準備

A.1.1 R のインストール

R のインストールに関して、初心者でも利用可能な資料がオンラインで公開されている。

R は The [Comprehensive R Archive Network](#), 通称 CRAN^{*2} というネットワークで公開されている。CRAN のトップページにはダウンロードリンクが用意されており、自分のプラットフォームにあった最新版をダウンロードしよう^{*3}。

^{*1} 2024 年 1 月現在で、Tokyo だけでなく Fukuoka, Sapporo, Yamaguchi, Iruma など地方コミュニティがあり、参加者みんなで楽しまれている。

^{*2} CRAN は「しーらん」、あるいは「くらん」と発音される。筆者はしーらん派。

^{*3} VSCode のようなエディタから使うことも可能であるし、Jupyter Notebook の計算エンジンを R にすることも可能。最近では分析ソフトウェアを個々人で準備せず、環境として提供することも一般的になってきており、例えば [Google Colaboratory](#) のエンジンを R にすることもできるようになっている。ローカル PC に自前の環境を作ることが、時代遅れになる日も近いかもしれない。

A.1.2 RStudio のインストール

R のインストールが終われば、次は RStudio をインストールしよう。RStudio は総合開発環境 (IDE) と呼ばれるものである。R は単体で、統計の分析や関数の描画など、専門的な利用に耐えうる分析機能を有している。その本質はもちろん計算機能であって、計算を実行する命令文 (スクリプト) を与えれば、必要な返答をあたえてくれる。このように分析の本質が計算機能であったとしても、実際の分析活動に際しては、スクリプトの下書きと清書、入出力データや描画ファイルの生成・管理、パッケージ (後述) の管理など、分析にまつわるさまざまな周辺活動が含まれる。喩えるなら料理の本質が包丁・まな板・コンロによる加工であったとしても、実際の調理に際しては、広い調理スペースや使いやすいシンク、ボウルやタッパーなどの補助的な調理器具があった方がスムーズにことが進む。いわば、R 単体で分析をするのは飯盒炊爨のような必要最低限かつワイルドな調理法であり、RStudio は総合的な調理環境を提供してくれるものなのである。

繰り返しになるが、本質的には R 単体で作業が可能である。なるべく単純な環境を維持したいというのであれば R 単体での利用を否定するものではないが、RStudio はエディタや文書作成ソフトとしても有用であるので、本授業では RStudio を使うことを前提とする^{*4}。

A.1.3 環境の準備に関する導入サイト

以下に執筆時点 (2024 年 1 月) で参照可能な、導入に関する Web 教材を挙げておく。自分に合ったものを適宜参照し、R と RStudio を自身の PC 環境に導入してほしい。もちろん自身で「R RStudio インストール」などとして検索しても良いし、chatGPT に相談しても良い。

A.1.3.1 For Windows

- ・ 東京大学・大学院農学生命科学研究科アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラムによる [PDF 資料](#)
- ・ [初心者向け R のインストールガイド](#)
- ・ 関西学院大学商学部土方ゼミ [資料](#)
- ・ 多摩大学情報社会研究所・応用統計学室 [資料](#)
- ・ 奥村晴彦先生の [ページ](#)

A.1.3.2 For Macintosh

- ・ 東京大学・大学院農学生命科学研究科アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラムによる [PDF 資料](#)
- ・ [note の記事](#)
- ・ いちばんやさしい、医療統計 [記事](#)

^{*4} VSCode のようなエディタから使うことも可能であるし、Jupyter Notebook の計算エンジンを R にすることも可能。最近では分析ソフトウェアを個々人で準備せず、環境として提供することも一般的になってきており、例えば [Google Colaboratory](#) のエンジンを R にすることもできるようになっている。ローカル PC に自前の環境を作るということが、時代遅れになる日も近いかもしれない。

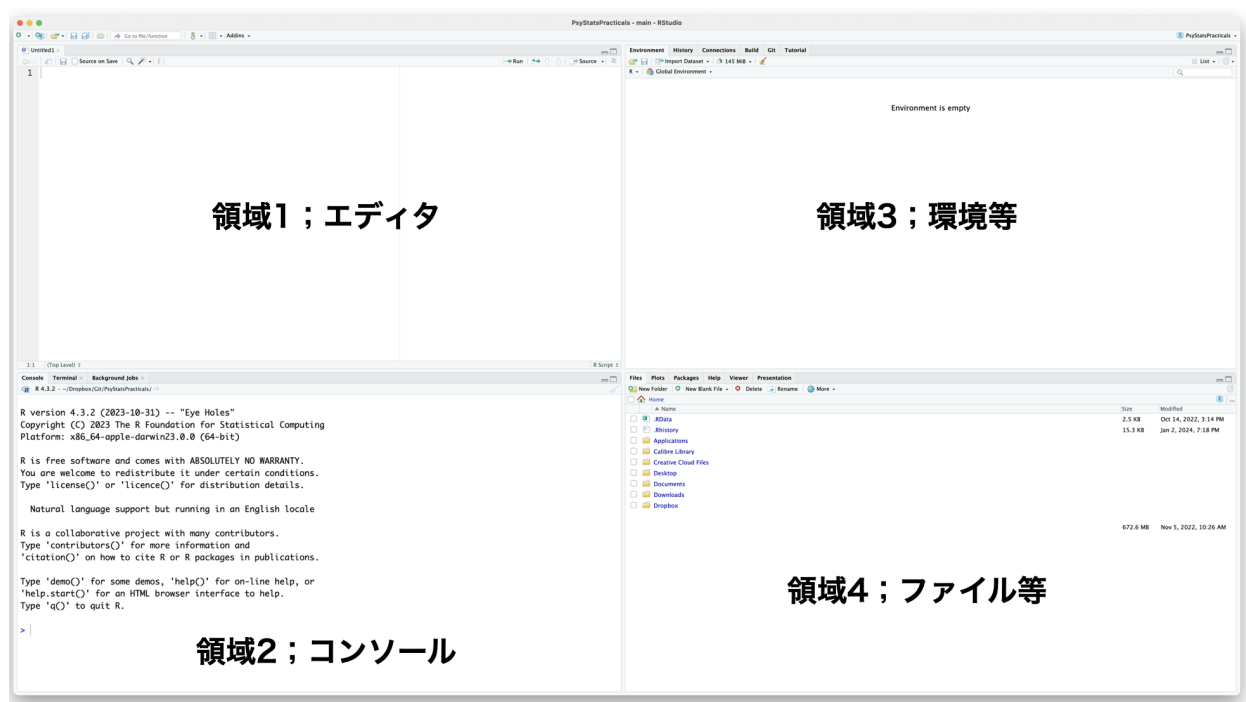
なお、Mac の場合は Homebrew などのパッケージ管理ソフトを使って導入することもできる（し、そのほうがいい）。その場合は以下の資料を参照。

- ・ 群馬大学大学院医学系研究科機能形態学の[記事](#)
- ・ コアラさばお氏の [note 記事](#)
- ・ Ryu Takahashi 氏の [Qiita 記事](#)
- ・ Yuhki Yano 氏の [Qiita 記事](#)

A.2 RStudio の基礎（4つのペイン）

ここまでで、R および RStudio を利用する準備が整っているものとする。

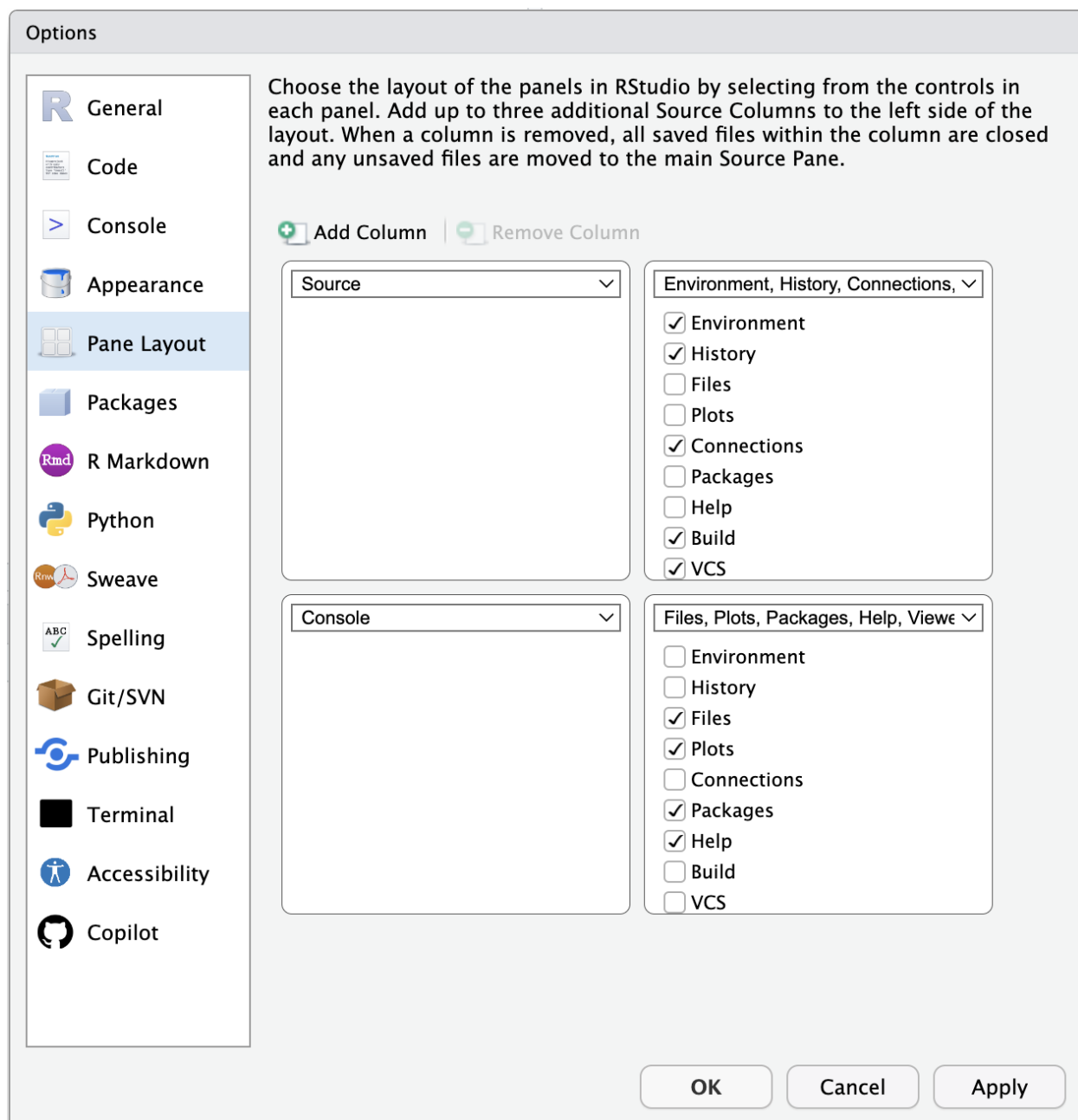
さて、RStudio を起動すると大きくわけて 4 つの領域に分かれた画面が出てくる。この領域のことをペインと呼ぶ。図中の「領域 1」がないように見えるときもあるが、下のペインが最大化され折りたたまれているだけなので、ペイン上部のサイズ変更ボタンを操作することで出てくるだろう。



FigureA.1: RStudio の初期画面

このペインのレイアウトは、メニューの Tools > Global Options... > Pane Layout から変更することもできる。基本的に 4 分割であることに変わりはないが、自分が利用しやすい位置にレイアウトを変更するとよい。

以下、各ペイン (領域) が何をするところかを簡単に解説する。



FigureA.2: レイアウト変更画面。このほかにも背景色などを変えることもできる

A.2.1 領域 1；エディタ・ペイン

エディタ領域。R のスクリプトはもちろん、レポートの文章など、基本的に入力するときはこのペインに書く。ここで作業するファイルの種類は、File > New File から見ると明らかなように、R 言語だけでなく C 言語、Python 言語などのスクリプトや、Rmd, md, Qmd, HTML などのマークアップ言語、Stan や SQL など特殊な言語などにも対応している。ペインの右下に現在開かれているファイルの種類が表示されているのを確認しておこう。

R 言語でスクリプトを書く例で解説しよう。R は命令を逐次実行していくインタプリタ形式であり、ここに記述された R コードを、右上の Run ボタンでコンソールに送って計算を実行するように使う。一回の命令をコマンド、コマンドが積み重ねられた全体をスクリプト、あるいはプログラムと呼ぶ。複数のコマンドを実行したい場合は、エディタ領域で複数行選択して Run ボタンを、スクリプトファイル全体を実行したいときは Run ボタンのとなりにある Source を押す。CTRL+Enter(Mac の場合はコマンド +Enter) で Run ボタンのショートカットになる。

A.2.2 領域 2；コンソール・ペイン

R 単体で利用する場合は、このペインだけを利用するようなものである。すなわち、ここに示されているのが R 本体というか、R の計算機能そのものである。ここに「>」の記号が表示されているところをプロンプトといい、プロンプトが表示されているときは R が入力待ちの状態である。

R は逐次的に計算を行うので、プロンプトのある状態でコマンドを入力すると計算結果が返される。ここに直接コマンドを書いて行っても良いが、書き間違えたりすることもあるし、コマンドが複数行に渡ることが一般的になってくるので、エディタ領域に清書するつもりで記述していったほうがよい。ごくたまに、一時的に確認したいことがある時だけ、直接コンソールを触るようにすると良い。

なお、コンソールを綺麗にしたいときは右上の箒ボタンをおすとよい。

A.2.3 領域 3；環境ペイン

基本的にこのペインと次の領域 4 のペインは複数のタブが含まれる。Pane Layout でどちらにどのタブを含めるかを自分好みにカスタマイズすることもできる。ここでは代表的な 2 つのタブについてのみ言及する。

Environment タブは、R の実行メモリ内に保管されている変数や関数などが表示されている。「変数や関数など」をまとめて**オブジェクト**というが、ここで内容や構造を GUI で確認することができる。

History タブは履歴である。これまでコンソールに送られてきたコマンドが順に記録されている。History タブからエディタ、コンソールにコマンドを送ることも可能であり、「さっきの命令をもう一度実行したい」といったときに参照すると良い。

A.2.4 領域 4；ファイルペイン

ここでも代表的なタブについてのみ解説する。

Files タブは Mac である Finder、Windows であるエクスプローラーのような、ファイル操作画面である。フォルダの作成、ファイルの削除、リネーム、コピーなどの操作が可能である。

Plot タブは R コマンドで描画命令が出された時の結果がここに表示される。RStudio の利点の一つは、この Plot から図をファイルに Export することが可能であり、その際にファイルサイズやファイル形式を指定できるところにある。

Packages タブは読み込まれているパッケージ、(読み込まれていないが) 保管しているパッケージのリストが

表示されている。新しくパッケージを導入するときも、ここの install ボタンから可能であり、保管しているパッケージのアップデートもボタンひとつで可能である。なお、パッケージについては後ほど言及する。

Help タブは R コマンドでヘルプを表示する命令 (`help` 関数) が実行された時の結果が表示される領域である。ヘルプを使うことで関数の引数、戻り値、使用例などを参照できる。

A.2.5 そのほかのタブ

そのほか、表示の有無もオプションになっているようないくつかのタブについて、簡単に解説しておく。

Connections タブは R を外部データベースなどに繋げるときに参照する。大規模データをローカルにすべて取り込むことなく、SQL で必要なテーブルだけ取り出すといった操作をする際は必要になってくるだろう。

Git タブは R、とくに R プロジェクト (後述) のバージョンを管理するときを利用する。Git とは複数のプログラマによって同時並行的にプログラムを作っていく時の管理システムである。時系列的な差分の記録を得意とするシステムなので、レポートの作成時などに応用すればラボノートの記録としても利用できる。

Build タブは R パッケージや Web サイトを構築するときを利用する。なおこの資料も RStudio を利用して作られており、資料を生成 (原稿から HTML や PDF にする) ときにはこのタブを利用している。

Tutorial タブはチュートリアルツアーを楽しむ時のタブである。

Viewer タブは RStudio で作られた HTML や PDF などを見るためのタブである。

Presentation タブは RStudio で作られたプレゼンテーションを見るためのタブである。

Terminal タブは Windows/Mac でいう Terminal, Linux でいう端末についてのタブであり、R に限らず、コマンドラインを通じて OS に命令するときを使う。

Background Jobs タブはその名の通りバックグラウンドで作業をさせるときに利用する。R は基本的にシングルコアで計算が実行されるが、このタブを使ってスクリプトファイルをバックグラウンドで実行することで並列的に作業が可能になる。

A.3 R のパッケージ

R は単体でも線型モデルなどの基本的な分析は可能であるが、より進んだ統計モデルを利用したい場合は専門のパッケージを導入することになる。パッケージとは関数群のことであり、これも CRAN や Github などインターネットを介して提供されている。ちなみに提供されているパッケージは、CRAN で公開されているものだけで 344,607 件あり^{*5}、Github^{*6}で公開されているものなど、CRAN を介さないパッケージも少なくない。

^{*5} 2024 年 01 月 18 日調べ

^{*6} Git はバージョン管理システムであるが、これをインターネット上のサーバ (レポジトリ) で行うものを Github という。RStudio は Github と連携しており、プロジェクトを Github と紐づけることで簡単にバージョン管理ができる。しかもここで言及しているように、Github 上でパッケージを公開することもできるので、最近 CRAN の校閲を待たずに公開できる Github が好まれている側面もある。

パッケージを利用する際は、まずローカルにパッケージファイルをインストールしなければならない。その上で、R を起動するごとに (セッションごとに)、関数 `library` でパッケージを呼び出して利用する。インストールを毎回行う必要はないことに注意。

インストールは R のコマンドでも可能だが、RStudio の Packages ペインを使って導入するのが簡単だろう。以下に、一部の有名かつ有用なパッケージ名とその簡単な説明を挙げる。本講義の中で使うものもあるので、事前に準備しておくことが望ましい。

- tidyverse パッケージ [5] ; R が飛躍的に使いやすくなったのは、この tidyverse パッケージ導入以後のことである。開発者の Hadley Wickham は R 業界で神と崇められており、R 業界に与えたインパクトは大きい。このパッケージは「パッケージ群」「パッケージのパッケージ」であり、tidyverse とは tidy な (整然とした)verse(世界) というような意味合いである。このパッケージは統計分析モデルを提供するものではなく、その前のデータの **前処理** に関する便利な関数を提供する^{*7}。このパッケージをインストールすると、関連する依存パッケージが次々取り込まれるので、少々時間がかかる。
- psych パッケージ [3] ; 名前の通り、心理学統計に関する統計モデルの多くが含まれている。特に特殊な相関係数や、因子分析モデルなどは非常に便利なので、インストールしておいて間違いない。
- GPARotation パッケージ [1] ; 因子分析における因子軸の回転に使うパッケージ。
- styler パッケージ ; スタイルを整えてくれるパッケージ。スクリプトの清書に便利。
- lavaan パッケージ [4] ; 潜在変数を含んだモデル (LAtent VArIable ANalysis) の分析、要するに構造方程式モデリング (Structural Equation Modeling;SEM, 共分散構造分析ともいう) を実行するパッケージ。
- ctv パッケージ [6]; CRAN Task Views の略で、膨大に膨れ上がった CRAN から必要なパッケージを見つけ出すのは困難であることから、ある程度のジャンルごとに関連しそうなパッケージをまとめて導入してくれるのがこのパッケージ。例えば、このパッケージをインストールした後で、`install.views("Psychometrics")` とすると、心理統計関係の多くのパッケージを次々導入してくれる。
- cmdstanr パッケージ [2] ; 複雑な統計モデルで利用される、確率的プログラミング言語 stan を R から使うことができるようになるパッケージ。導入にはこのパッケージの他にも stan やコンパイル環境の準備が必要なので、[公式の導入サイト](#)も参考にしてほしい。

A.4 RStudio のプロジェクト

実際に R を使っていく前に、最後の準備として RStudio におけるプロジェクトについて解説しておく。

みなさんも、PC をつかって文書を作ったり保管したりするときに、フォルダにまとめて入れておくことがあるだろう。フォルダは例えば「文書」>「心理学」>「心理学統計演習」のように階層的に整理することが一般的で、そうしておくことで必要なファイルをすぐに取り出すことができる。

逆に言えば、こうしたフォルダ管理をしておかなければファイルが PC のなかで散乱してしまい、必要な情報を

^{*7} 実は統計データの解析にかかる時間のほとんどが、解析に適切な形にデータを整形する「前処理」に費やされる。前処理、別名データハンドリングをいかに上手く、素早く、直感的にできるかは、その後の分析にも影響するほど重要な手順であるため、tidyverse パッケージの登場はありがたかった。これを使ったデータハンドリングだけの専門書 [7] が重宝されるほどである。

得るために逐一 PC の中身を検索しなければならないだろう。

R/RStudio を使った分析実践の場合も同様で、一回のテーマについて複数のファイル (スクリプトファイル、データファイル、画像ファイル、レポートなど文書ファイル等々) があり、シーンに合わせて (例えば「授業」「卒論」など) フォルダで管理することになる。

さらに、PC 環境には作業フォルダ (Working Directory)^{*8} という概念がある。たとえば R/RStudio を起動・実行しているときに、R が「今どこで」実行されているか、どこを管理場所としているか、を表す概念である。例えばこの作業フォルダの中に `sample.csv` というファイルがあって、それをスクリプト上から読み込みたい、というコマンドを実行するのであれば、そのままファイル名を書けば良い。しかし別の場所にそのファイルが保存されているのなら、作業フォルダから見た相対的な位置を含めて指示してやるか (相対パス)、あるいは PC 環境全体からみた絶対的な位置を含めて (絶対パス) 指示してやる必要がある。相対・絶対パスの違いは、「ここから二つ目の角を右」のように指示するか、住所で指示するかの違いであると考えれば良い。

ともあれ、この作業フォルダがどこに設定されているかは、実行するときに常に気にしていなければならない。ちなみにこの作業フォルダは、RStudio のファイルペイン・Files タブでひらいているところとは限らないことに注意してほしい。GUI 上でエクスプローラ/Finder で開いたからといって、作業フォルダが自動的に切り替わるようにはなっていない。

そこで RStudio のプロジェクトである。RStudio には「プロジェクト」という概念があり、作業フォルダや環境の設定などをそこで管理することができる。新しくプロジェクトを始めるときは File>New Project、すでに一度プロジェクトを作っているときは File > Open Project としてプロジェクトファイル (拡張子が `.proj` のファイル) を開くようにする。そうすると、作業フォルダが当該フォルダに設定される。プロジェクトを Git に連携しておくバージョン管理などもフォルダ単位で行える。

以後、本講義で外部ファイルを参照する場合、プロジェクトフォルダの中にそのファイルがあるものとして (パスを必要としない形で) 論じるので注意されたし。

A.5 課題

- ・ R の最新版を CRAN からダウンロードし、自分の PC にインストールしてください。
- ・ RStudio の Desktop 版を [Posit 社のサイト](#) からダウンロードし、自分の PC にインストールしてください。
- ・ RStudio を起動し、ペインレイアウトをデフォルトではない状態に並べ直してみてください。ソースペインを 3 列にするのも良いでしょう。
- ・ コンソールペインに書かれている文字を全て消去してみてください。
- ・ ファイルペインにある Files タブをつかって、色々なフォルダを開けてみたり、不要なファイルを削除したり、ファイル名を変更したりしてみてください。
- ・ ファイルペインにある Files タブを開き、More のところから Go To Working Directory を選択・実行してください。何か起こったでしょうか。

^{*8} ここでは、フォルダとディレクトリは同じ意味であると思ってもらって良い。一般に、CUI ではディレクトリ、GUI ではフォルダという用語が好まれる。語幹 `direct` にあるように、ファイルやアクセス先など具体的な指し示す先を強調しているのがディレクトリであり、それにファイル群などまとまった容れもの、という意味を付加したのがフォルダである。フォルダの方が言葉としてわかりやすいし。

- ・ この授業のために、新しいプロジェクトを作成してください。プロジェクトは新しいフォルダでも、既存のフォルダでも構いません。
- ・ プロジェクトが開いた状態のとき、RStudio のウィンドウ・タブのどこかに「プロジェクト名」が表示されているはずです。確認してください。
- ・ またファイルペインの Files タブから、色々なファイル操作をした上で、改めて Go To Working Directory をしてください。プロジェクトフォルダの中に戻ってこれたら成功です。
- ・ 新しい R スクリプトファイルを開き、空白のままで結構ですからファイル名をつけて保存してください。
- ・ RStudio を終了あるいは最小化させ、OS のエクスプローラ/Finder から、プロジェクトフォルダに移動してください。先ほど作ったファイルが保存されていることを確認してください。
- ・ プロジェクトフォルダには、プロジェクト名+.proj というファイルが存在するはずです。これを開いて、RStudio のプロジェクトを開いてください。
- ・ RStudio の File > Close Project からプロジェクトを閉じてください。画面の細部でどこが変わったか、確認してください。
- ・ RStudio を終了し、再び RStudio を起動してください。起動の方法はプロジェクトファイルからでも、アプリケーションの起動でも構いません。起動後に、プロジェクトを開いてください (あるいはプロジェクトが開かれていることを確認してください。)。

付録 B

R の基礎

B.1 R で計算

B.2 R の関数

B.3 オブジェクトの型

B.4 変数の型

B.5 外部ファイルの読み込み

付録 C

R によるデータハンドリング

C.1 tidyverse の導入

C.2 パイプ演算子

C.3 変数を作る

C.4 行選択と列選択

C.5 ロング型とワイド型

C.6 データ整形課題

Bibliography

- [1] Coen A. Bernaards and Robert I. Jennrich. “Gradient Projection Algorithms and Software for Arbitrary Rotation Criteria in Factor Analysis” . In: Educational and Psychological Measurement 65 (5 2005), pp. 676 - 696. DOI: [10.1177/0013164404272507](https://doi.org/10.1177/0013164404272507).
- [2] Jonah Gabry, Rok ĆeĆnovar, and Andrew Johnson. cmdstanr: R Interface to ‘ CmdStan’ . <https://mc-stan.org/cmdstanr/>, <https://discourse.mc-stan.org>. 2023.
- [3] William Revelle. psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research. R package version 2.1.3. Northwestern University. Evanston, Illinois, 2021. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=psych>.
- [4] Yves Rosseel. “lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling” . In: Journal of Statistical Software 48.2 (2012), pp. 1 - 36. DOI: [10.18637/jss.v048.i02](https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02).
- [5] Hadley Wickham et al. “Welcome to the tidyverse” . In: Journal of Open Source Software 4.43 (2019), p. 1686. DOI: [10.21105/joss.01686](https://doi.org/10.21105/joss.01686).
- [6] Achim Zeileis. “CRAN Task Views” . In: R News 5.1 (2005), pp. 39 - 40. URL: <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.
- [7] 優哉 松村 et al. 改訂 2 版 R ユーザのための RStudio[実践] 入門～tidyverse によるモダンな分析フローの世界. 技術評論社, 2021.