

計算数学のための統合web アプリケーションCoCalcと そのオンライン授業での利用

照井 章（筑波大学 数理物質系）
数学ソフトウェアとフリードキュメント34
2023年3月14日 @ 中央大学

自己紹介

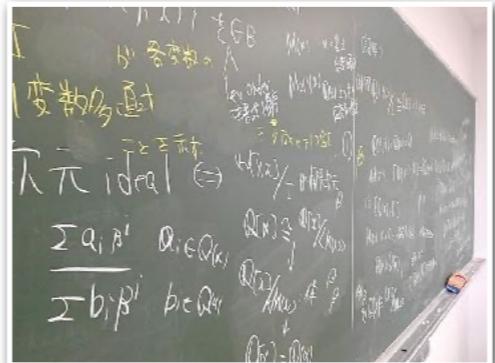
照井 章 てるい あきら

筑波大学 数理物質系（数学域）/人工知能科学センター



研究：計算機代数／数式処理

- ・ 数式・数値融合計算（1変数多項式の近似最大公約子 (GCD) の計算アルゴリズム）
- ・ 数式処理のロボット工学への応用／ロボット工学における数理的問題の解法



自己紹介

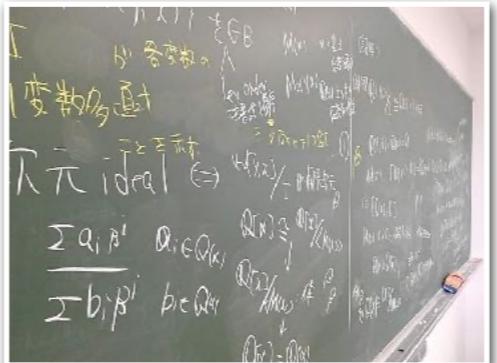
照井 章 てるい あきら

筑波大学 数理物質系（数学域）/人工知能科学センター



教育：

- 学部：理工学群 数学類
- 大学院：理工情報生命学術院 数理物質科学研究群 数学学位プログラム
- 大学院：人間総合科学学術院 人間総合科学研究群 教育学学位プログラム 次世代学校教育創成サブプログラム 数学教育領域（旧・教育研究科）



きょうの内容

統合webアプリケーションCoCalcとそのオンライン授業での利用

- CoCalc とは？
 - 計算環境としてのCoCalc
 - 授業管理システム (LMS) としてのCoCalc
- CoCalcのオンライン授業での利用事例の紹介
 - 筑波大学理工学群数学類 「計算機演習」
 - コロナ禍によるオンライン授業

CoCalcとは？

計算数学のための統合webアプリケーション

アプリケーション：

Jupyter Notebook, SAGEワークシート, JupyterLab,

ホワイトボード, Linuxターミナル,

X11 (ネットワーク透過型ウインドウ環境),

LaTeXエディタ, Markdownエディタ, テキスト/ビデオチャット,

タイマー, To Doリスト, LMS (学習管理システム), etc.

CoCalcとは？

計算数学のための統合webアプリケーション

言語等の処理系：

SageMath (数式処理システム), C++, Coq (定理証明支援系),

Javascript (Node.js), Julia, GNU Octave (数値計算環境),

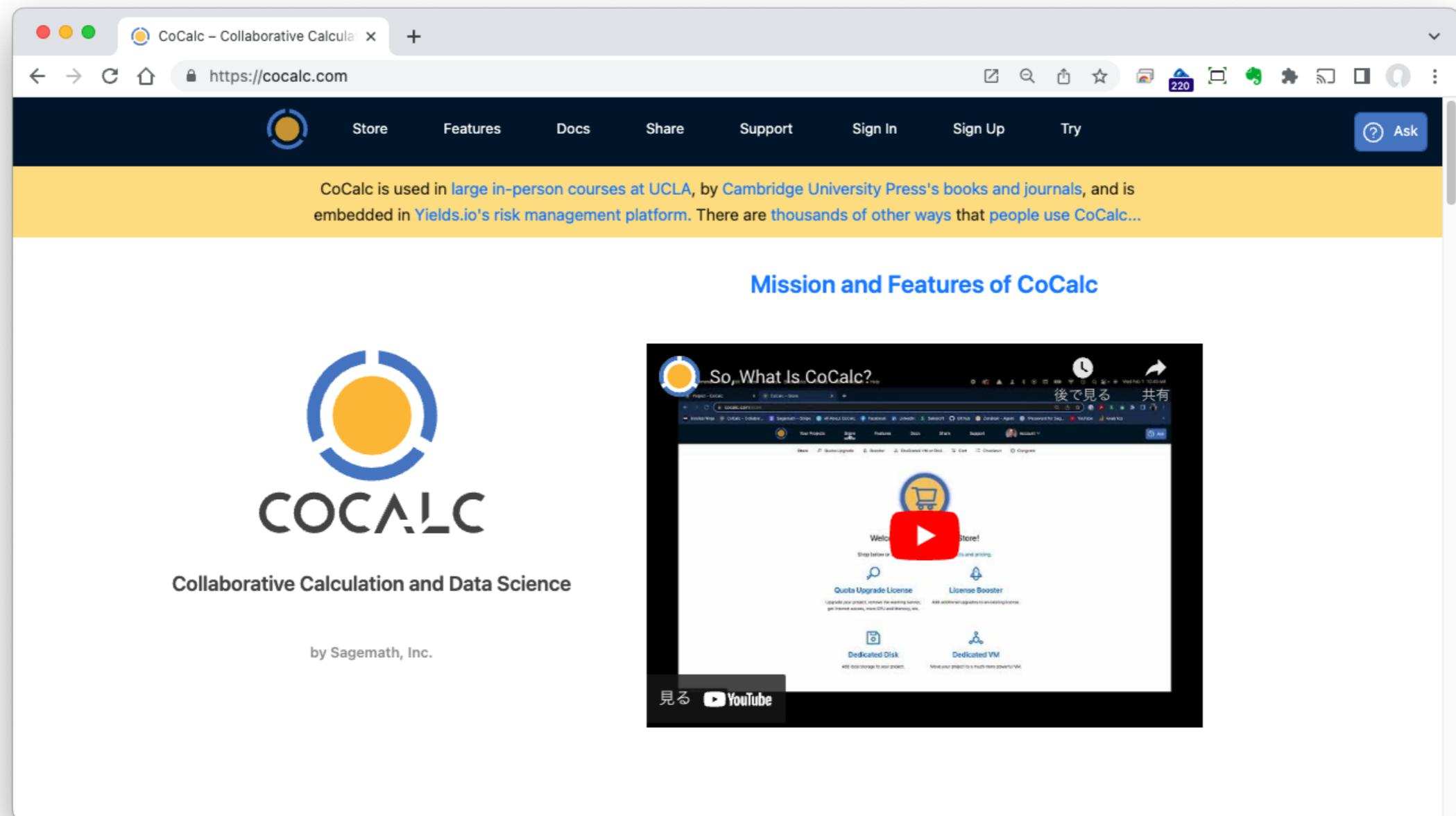
Prolog, Python, R (統計計算環境), ROOT (データ解析環境), etc.

CoCalcとは？

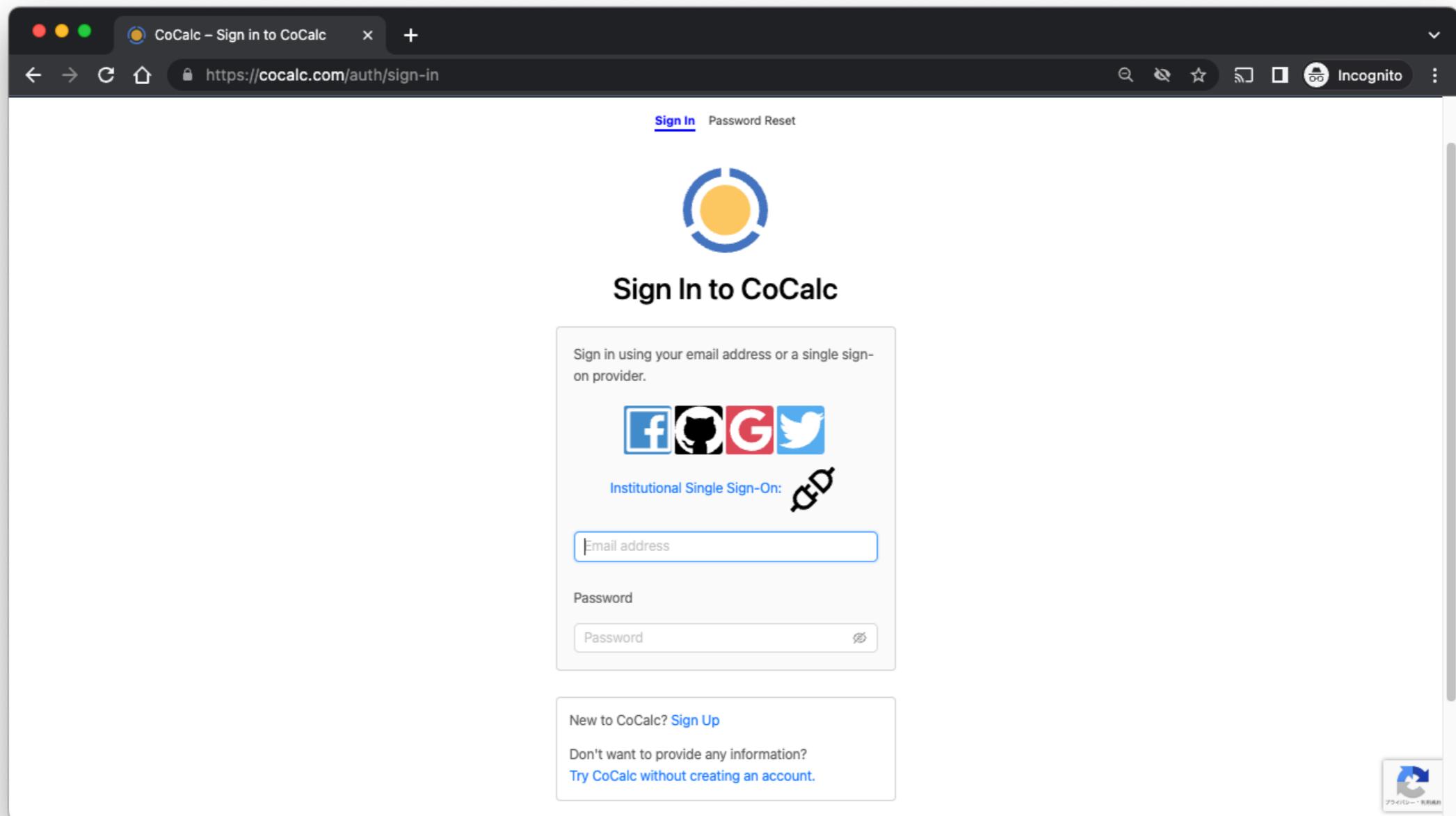
沿革

- ・ 数式処理システム SageMath (<https://www.sagemath.org/>)
(Zimmerman, et al., 2018)
 - ・ William Stein: the founder and creator (<https://about.cocalc.com/>)
 - ・ 「(主に)フリーの数式処理システム/計算ソフトウェアをPythonで統合する」
- ・ SageMathCloud: SageMathのクラウド版 (横山, 2014)
- ・ CoCalc: Collaborative Calculation (<https://github.com/sagemathinc/cocalc>): 2016年秋に命名, 2017年春に改名
- ・ 現在 SageMath, Inc. にて開発中

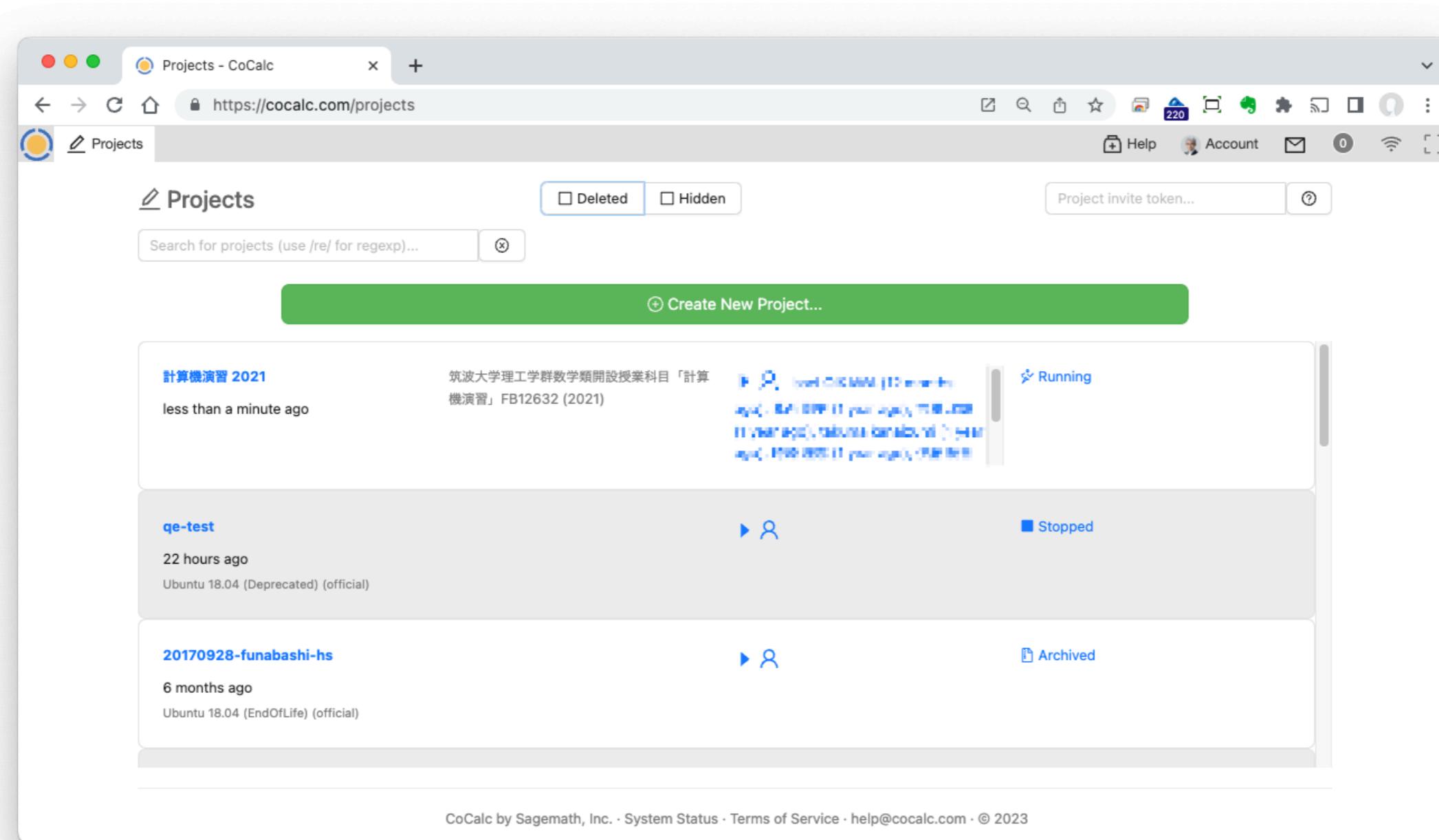
計算環境としてのCoCalc



CoCalc: サインイン

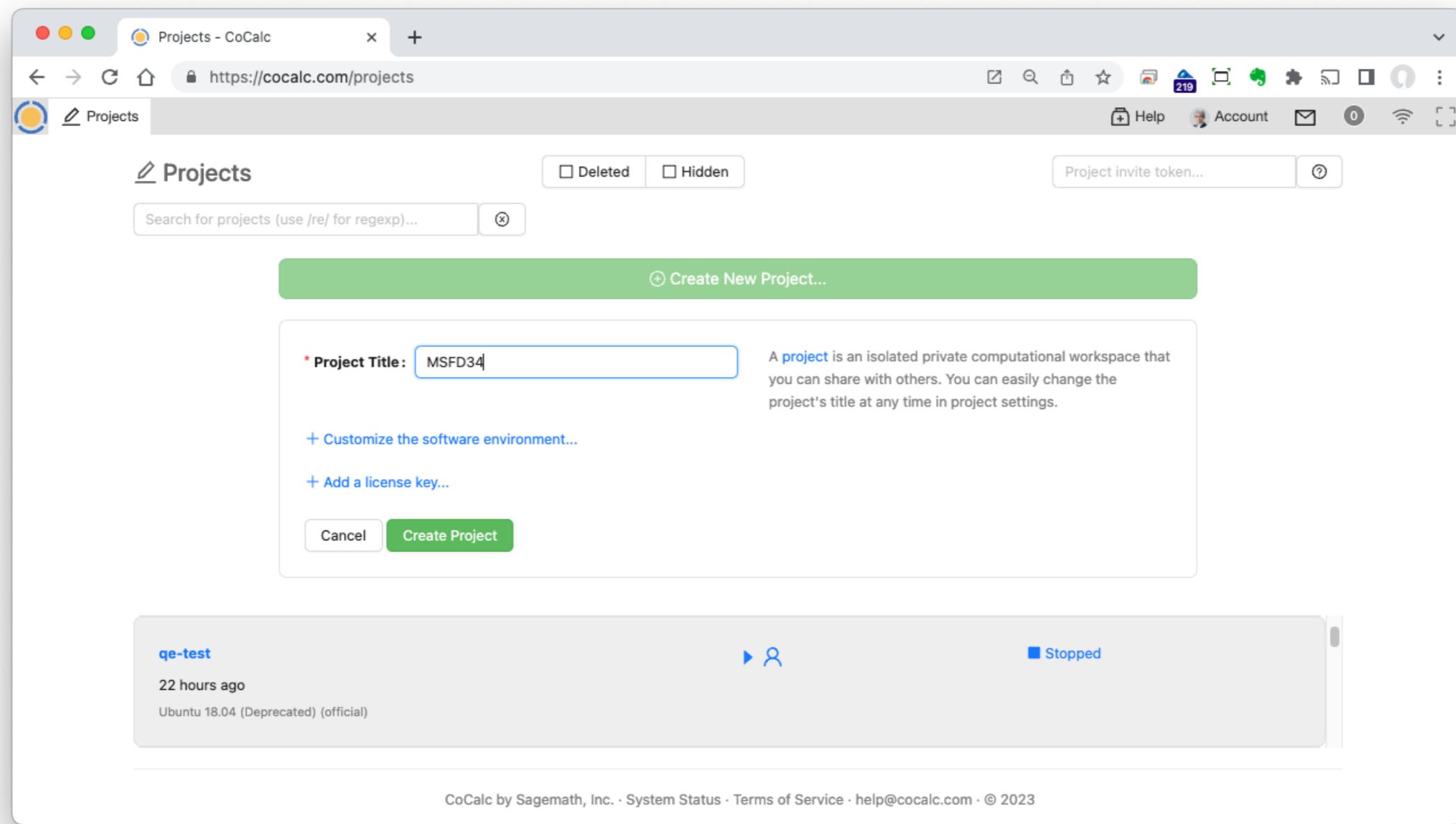


CoCalc: プロジェクトの選択



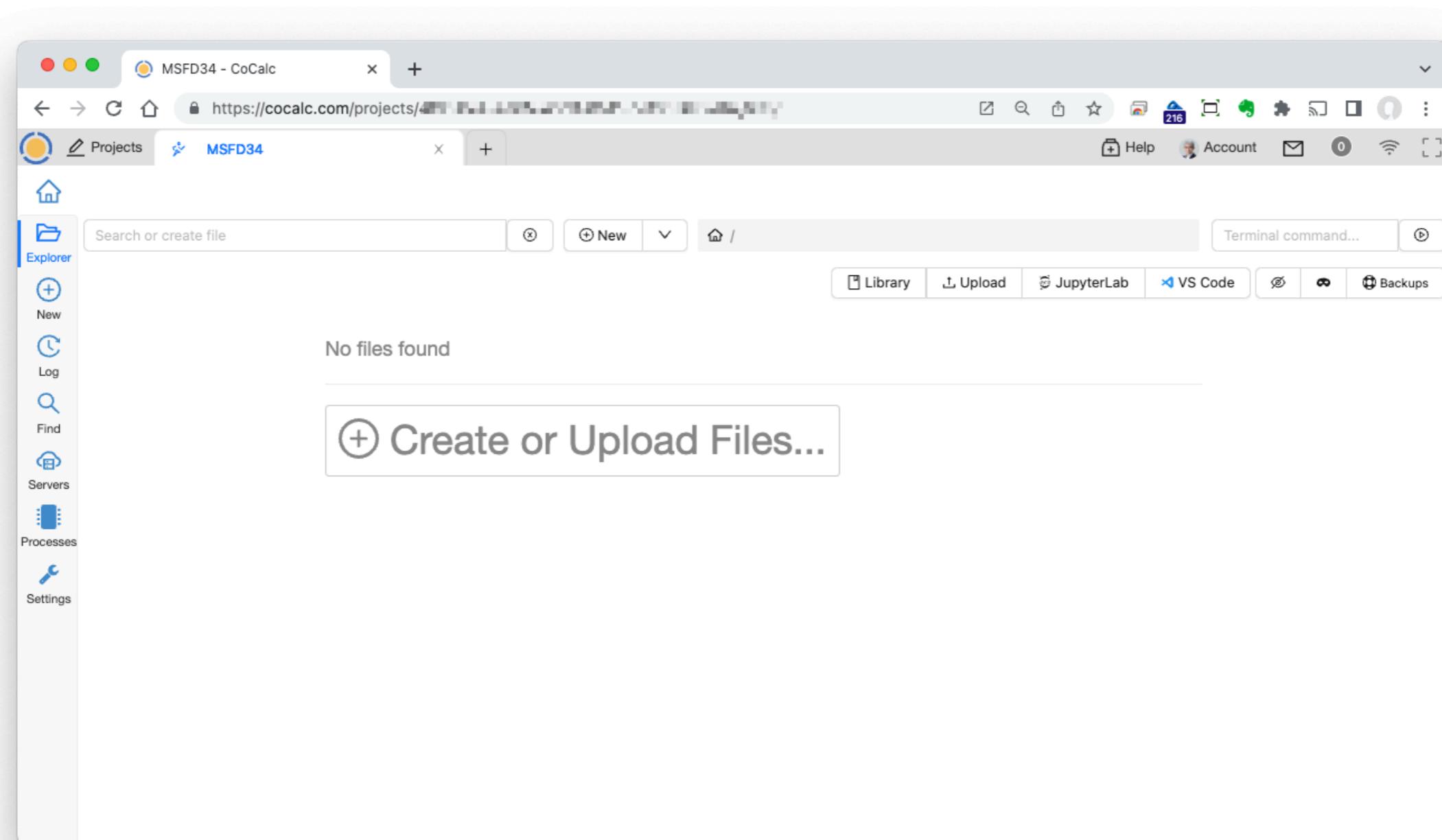
CoCalc: プロジェクトの作成

「MSFD34」プロジェクトを作る

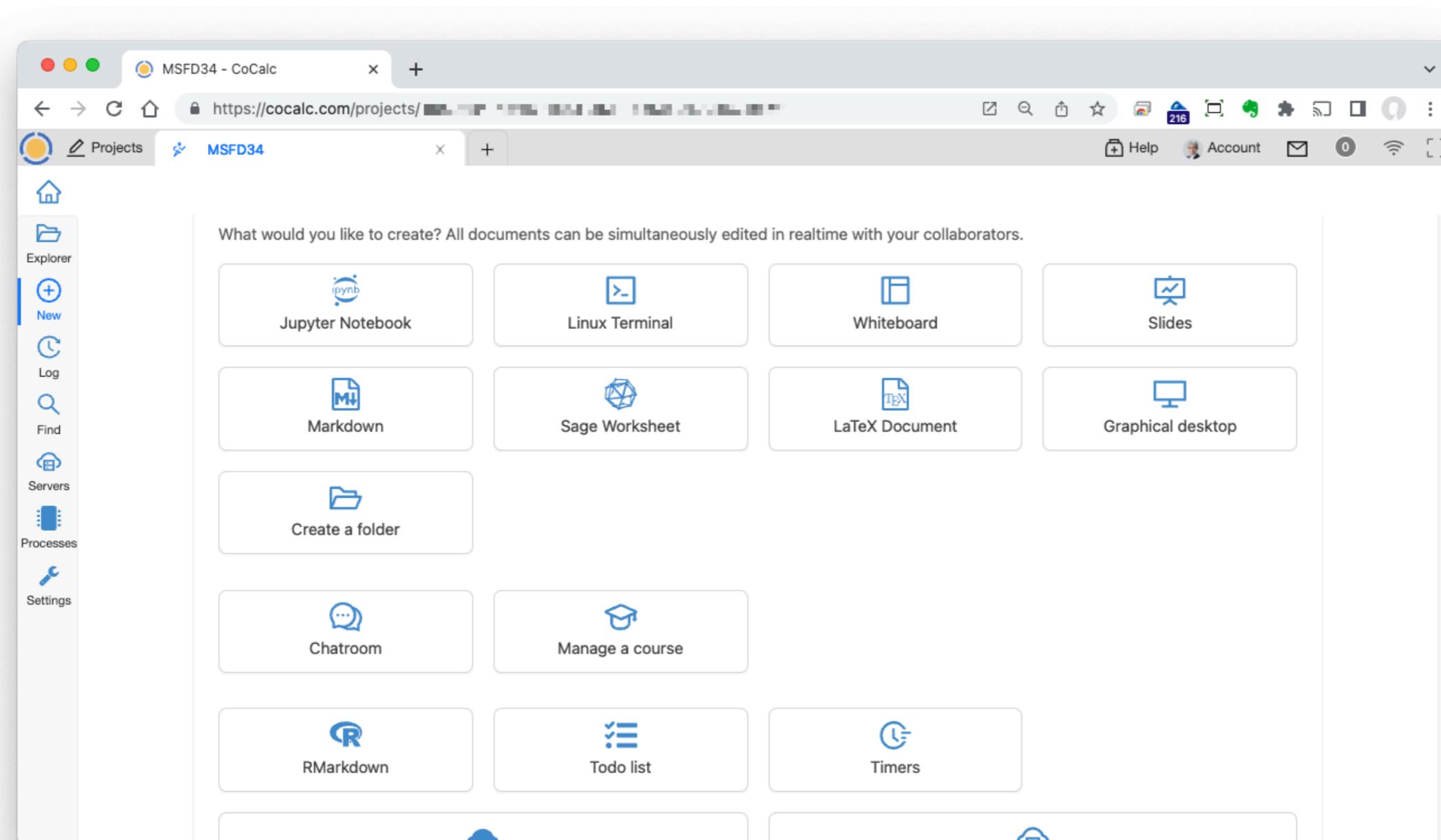


CoCalc: プロジェクトの開始

新規ファイルの作成（アップロード）待ち

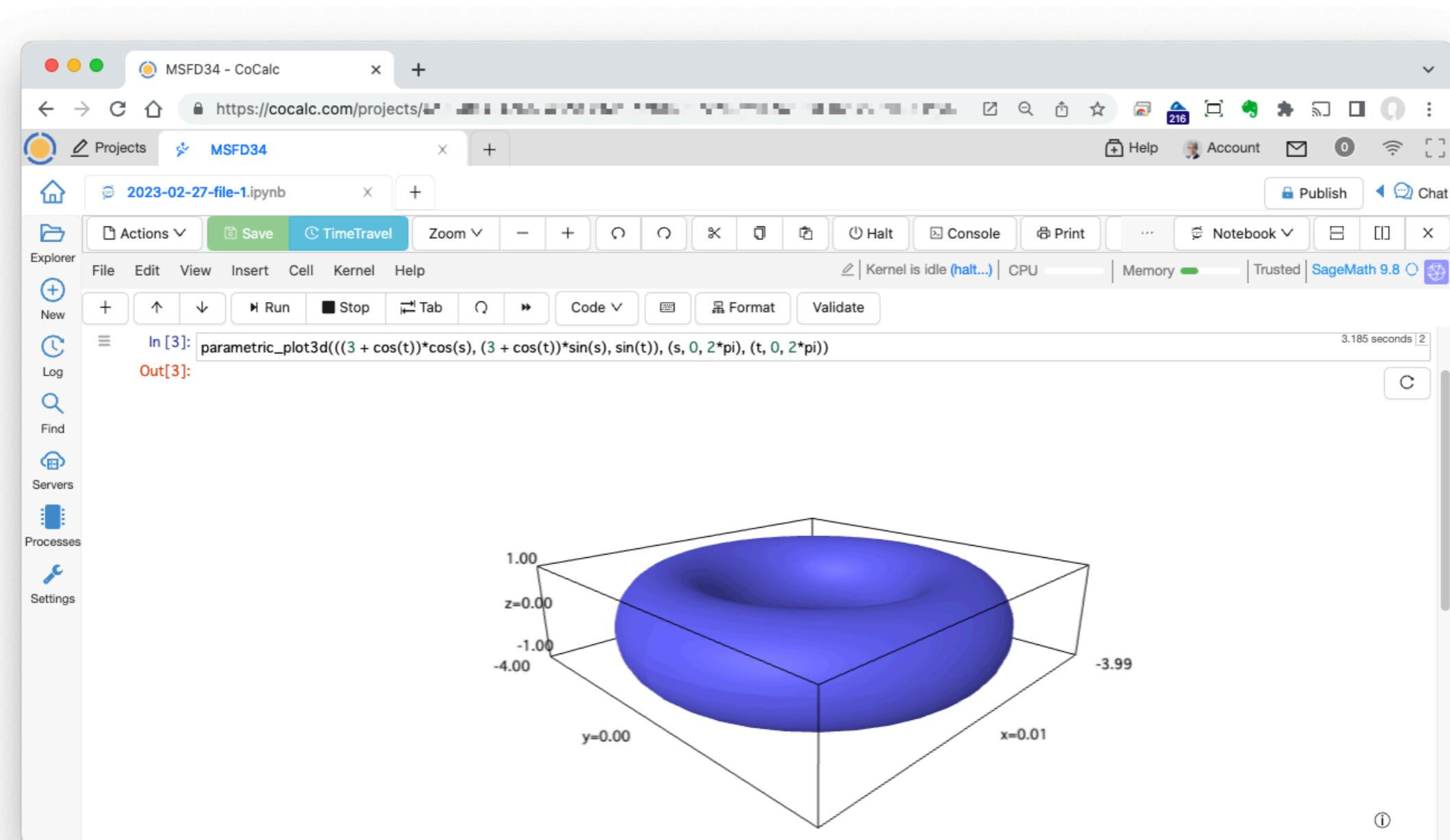


CoCalc: 新規ファイル作成



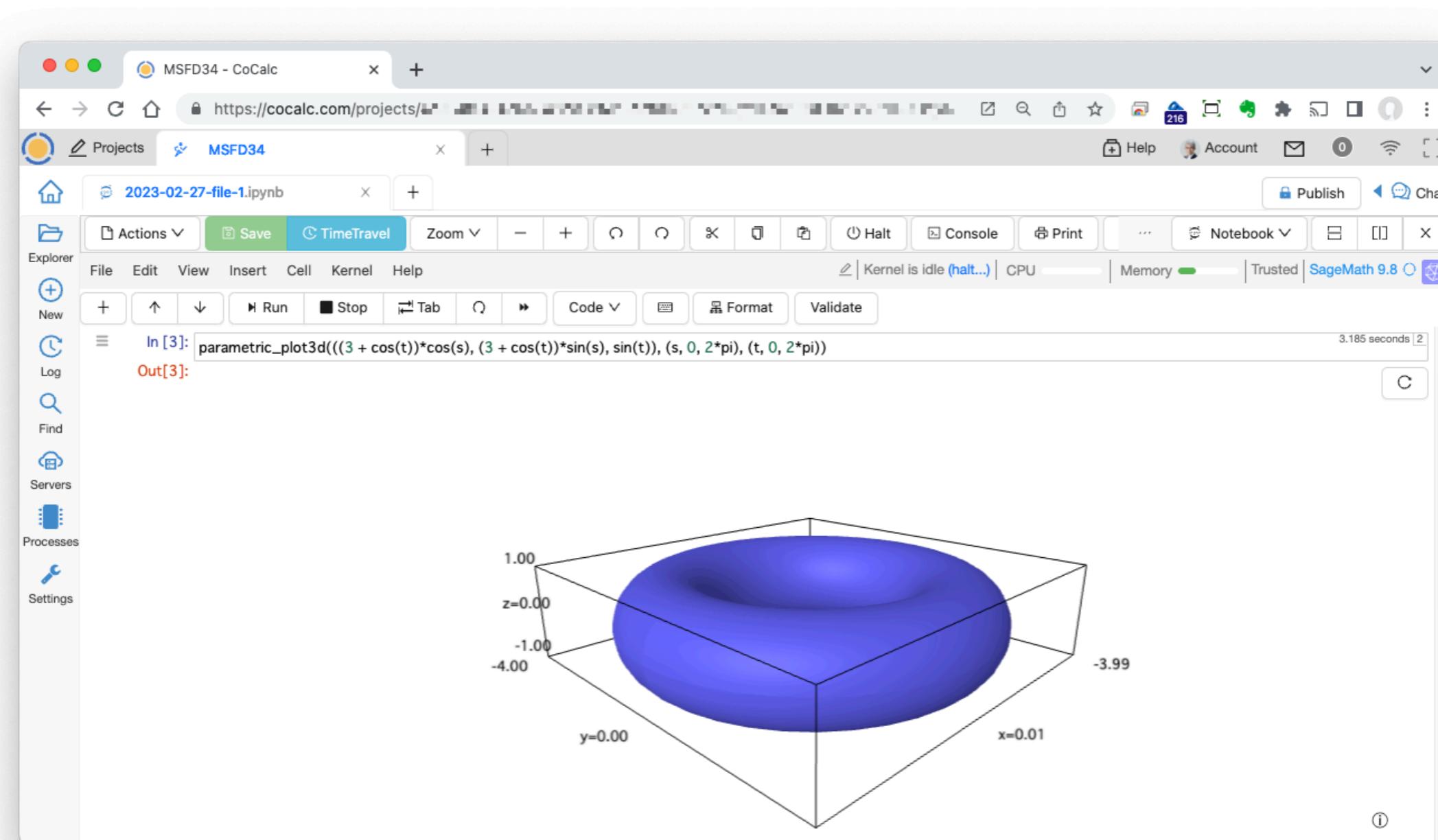
CoCalc: Jupyter Notebookの実行例

SageMath 9.8の実行例



数式処理システム SageMath

計算機上で数式を直接扱って計算を行うソフトウェア



数式処理システム SageMath

計算例

- 関数描画（前のスライド）
- 数を厳密な形で扱う（有理数、代数的数、…）

数式処理システム SageMath

GNU Octaveで連立1次方程式を解く

The screenshot shows a CoCalc workspace titled 'MSFD34 - CoCalc'. On the left, there's a sidebar with icons for Projects, Explorer, New, Log, Find, Servers, Processes, and Settings. The main area has tabs for '2023-02-27-file-1.ipynb' and '2023-02-27-file-2.ipynb'. A toolbar at the top includes 'Actions', 'Save', and 'TimeTravel'. Below that is a menu bar with File, Edit, View, Insert, Cell, Kernel, and a 'Hint' button. The code editor shows the following steps:

- In [4]: `A = [1 1; 0 3]; A`
Out[4]: `A =`
$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$$
- In [6]: `b = [1; 2]`
Out[6]: `b =`
$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$
- In [8]: `A \ b`
Out[8]: `ans =`
$$\begin{pmatrix} 0.3333 \\ 0.6667 \end{pmatrix}$$

On the right side of the interface, there are two large blue boxes containing mathematical expressions. The top box contains:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

The bottom box contains:

$$\text{連立1次方程式 } A\mathbf{x} = \mathbf{b} \text{ を解く}$$

A large blue downward arrow points from the text in the top box to the solution vector in the bottom box.

数式処理システム SageMath

SageMathで連立1次方程式を解く

The screenshot shows a SageMath notebook interface on a Mac OS X desktop. The window title is "MSFD34 - CoCalc". The notebook contains the following code:

```
In [15]: A = matrix(QQ, [[1,1],[0,3]]); A
Out[15]: (1 1)
          (0 3)

In [23]: b = vector(QQ, [1,2]); b
Out[23]: (1, 2)

In [22]: A^-1
Out[22]: (1  -1/3)
          (0   1/3)

In [24]: A^-1 * b
Out[24]: (1/3, 2/3)

In [ ]:
```

A large blue arrow points from the text "連立1次方程式 $Ax = b$ を解く" to the solution vector x .

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{2}{3} \end{pmatrix}$$

数式処理システム SageMath

SageMathで1変数代数方程式を解く

The screenshot shows a SageMath notebook interface on a Mac OS X system. The title bar says "MSFD34 - CoCalc". The main window displays a Jupyter-style notebook with two cells:

```
In [27]: f = x^4 + 3*x^3 - 5*x^2 + 2*x - 1; f
Out[27]: x^4 + 3*x^3 - 5*x^2 + 2*x - 1
```

```
In [29]: solve(f == 0, x)
Out[29]: [x == -1/6 * (1/2)^(1/3) * (3*sqrt(335)*sqrt(3) - 191)^(1/3) * (i*sqrt(3) + 1) - 19*(1/2)^(2/3) * (-i*sqrt(3) + 1) / (3*(3*sqrt(335)*sqrt(3) - 191)^(1/3)) - 4/3, x == -1/6 * (1/2)^(1/3) * (3*sqrt(335)*sqrt(3) - 191)^(1/3) * (-i*sqrt(3) + 1) - 19*(1/2)^(2/3) * (i*sqrt(3) + 1) / (3*(3*sqrt(335)*sqrt(3) - 191)^(1/3)) - 4/3]
```

A large blue rectangular box highlights the text "1変数代数方程式" and "を解く" (Solve the polynomial equation) overlaid on the right side of the notebook interface.

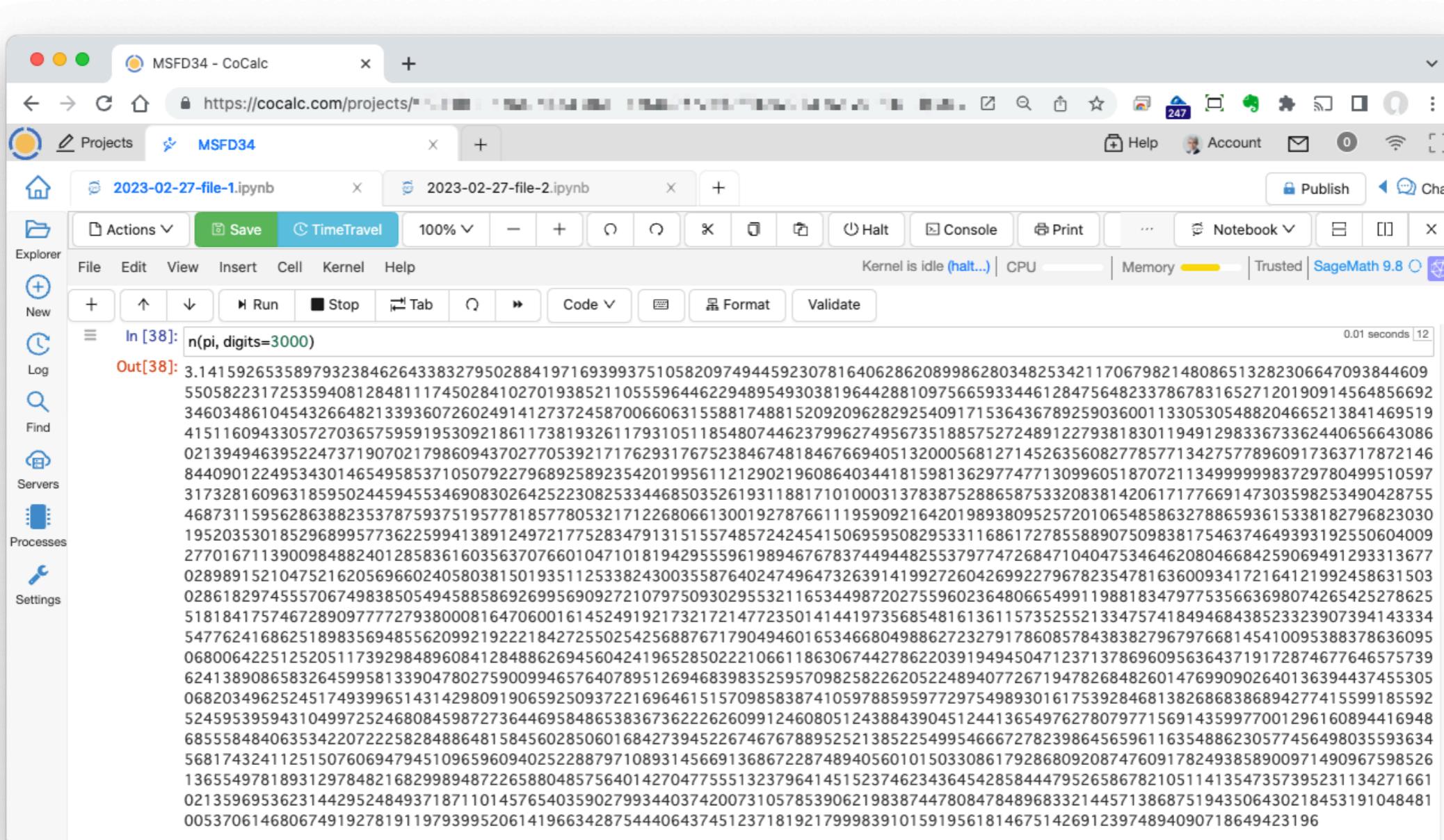
数式処理システム SageMath

計算例

- 関数描画（前のスライド）
- 数を厳密な形で扱う（有理数、代数的数、…）
 - 浮動小数はメモリ容量が許す限り任意の精度で扱うことが可能

数式処理システム SageMath

円周率の値を精度3000桁まで計算



The screenshot shows a CoCalc notebook interface with two tabs: "2023-02-27-file-1.ipynb" and "2023-02-27-file-2.ipynb". The "Actions" menu is open, and the "TimeTravel" button is highlighted. The toolbar includes "Save", "Kernel", "Console", "Print", and "Notebook". The status bar indicates "Kernel is idle (halt...)" and "SageMath 9.8". In the code editor, cell 38 is active, showing the command `n(pi, digits=3000)`. The output of this command is a very long string of digits: 3.141592653589793238462643383279502884197169399375105820974944592307816406286208998628034825342117067982148086513282306647093844609 55058223172535940812848111745028410270193852110555964462294895493038196442881097566593344612847564823378678316527120190914564856692 34603486104543266482133936072602491412737245870066063155881748815209209628292540917153643678925903600113305305488204665213841469519 41511609433057270365759591953092186117381932611793105118548074462379962749567351885752724891227938183011949129833673362440656643086 02139494639522473719070217986094370277053921717629317675238467481846766940513200056812714526356082778577134275778960917363717872146 8440901224953430146549585371050792279689258923542019956112129021960864034418159813629774771309960518707211349999983729780499510597 3173281609631859502445945534690830264252230825334468503526193118817010003137838752886587533208381420617177669147303598253490428755 46873115956286388235378759375195778185778053217122680661300192787661119590921642019893809525720106548586327886593615338182796823030 19520353018529689957736225994138912497217752834791315155748572424541506959508295331168617278558890750983817546374649393192550604009 27701671139009848824012858361603563707660104710181942955596198946767837449448255379774726847104047534646208046684259069491293313677 02898915210475216205696602405803815019351125338243003558764024749647326391419927260426992279678235478163600934172164121992458631503 02861829745557067498385054945885869269956909272107975093029553211653449872027559602364806654991198818347977535663698074265425278625 5181841757467289097772793800081647060016145249192173217214772350141441973568548161361157352552133475741849468438523323907394143334 54776241686251898356948556209921922218427255025425688767179049460165346680498862723279178608578438382796797668145410095388378636095 06800642251252051173929848960841284886269456042419652850222106611863067442786220391949450471237137869609563643719172874677646575739 62413890865832645995813390478027590099465764078951269468398352595709825822620522489407726719478268482601476990902640136394437455305 06820349625245174939965143142980919065925093722169646151570985838741059788595977297549893016175392846813826868386894277415599185592 52459539594310499725246808459872736446958486538367362226260991246080512438843904512441365497627807977156914359977001296160894416948 68555848406353422072225828488648158456028506016842739452267467678895252138522549954666727823986456596116354886230577456498035593634 56817432411251507606947945109659609402522887971089314566913686722874894056010150330861792868092087476091782493858900971490967598526 1365549781893129784821682998948722658804857564014270477551323796414515237462343645428584447952658678210511413547357395231134271661 02135969536231442952484937187110145765403590279934403742007310578539062198387447808478489683321445713868751943506430218453191048481 00537061468067491927819119793995206141966342875444064374512371819217999839101591956181467514269123974894090718649423196

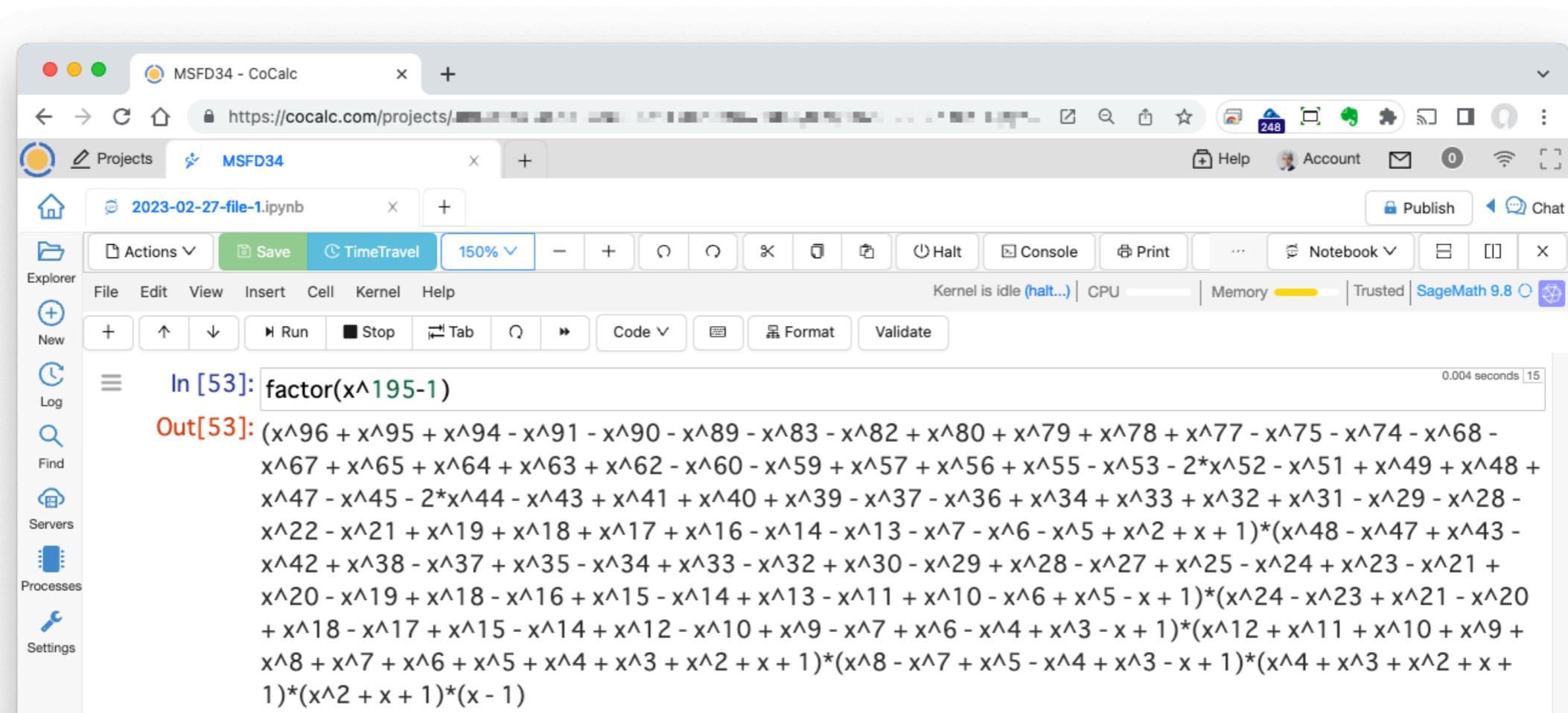
数式処理システム SageMath

計算例

- 関数描画（前のスライド）
- 数を厳密な形で扱う（有理数、代数的数、…）
 - 浮動小数はメモリ容量が許す限り任意の精度で扱うことが可能
- 多項式の因数分解

数式処理システム SageMath

円分多項式の因数分解の例



The screenshot shows a CoCalc notebook interface with the following details:

- Title Bar:** MSFD34 - CoCalc
- Project Bar:** Projects, MSFD34
- File Bar:** 2023-02-27-file-1.ipynb
- Toolbar:** Actions, Save, TimeTravel (selected), 150%, Run, Stop, Tab, Code, Format, Validate.
- Kernel Status:** Kernel is idle (halt...), CPU, Memory (yellow bar), Trusted, SageMath 9.8
- Input Cell (In [53]):** factor(x^195-1)
- Output Cell (Out[53]):** A very long polynomial expression involving powers of x from 1 to 195, including terms like $x^{96} + x^{95} + \dots - x^{195}$.
- Log:** Shows 0.004 seconds for the computation.

円分多項式の整数上の既約因子の係数に $-1, 0, 1$ 以外の値が現れる例
(Suzuki, 1987)

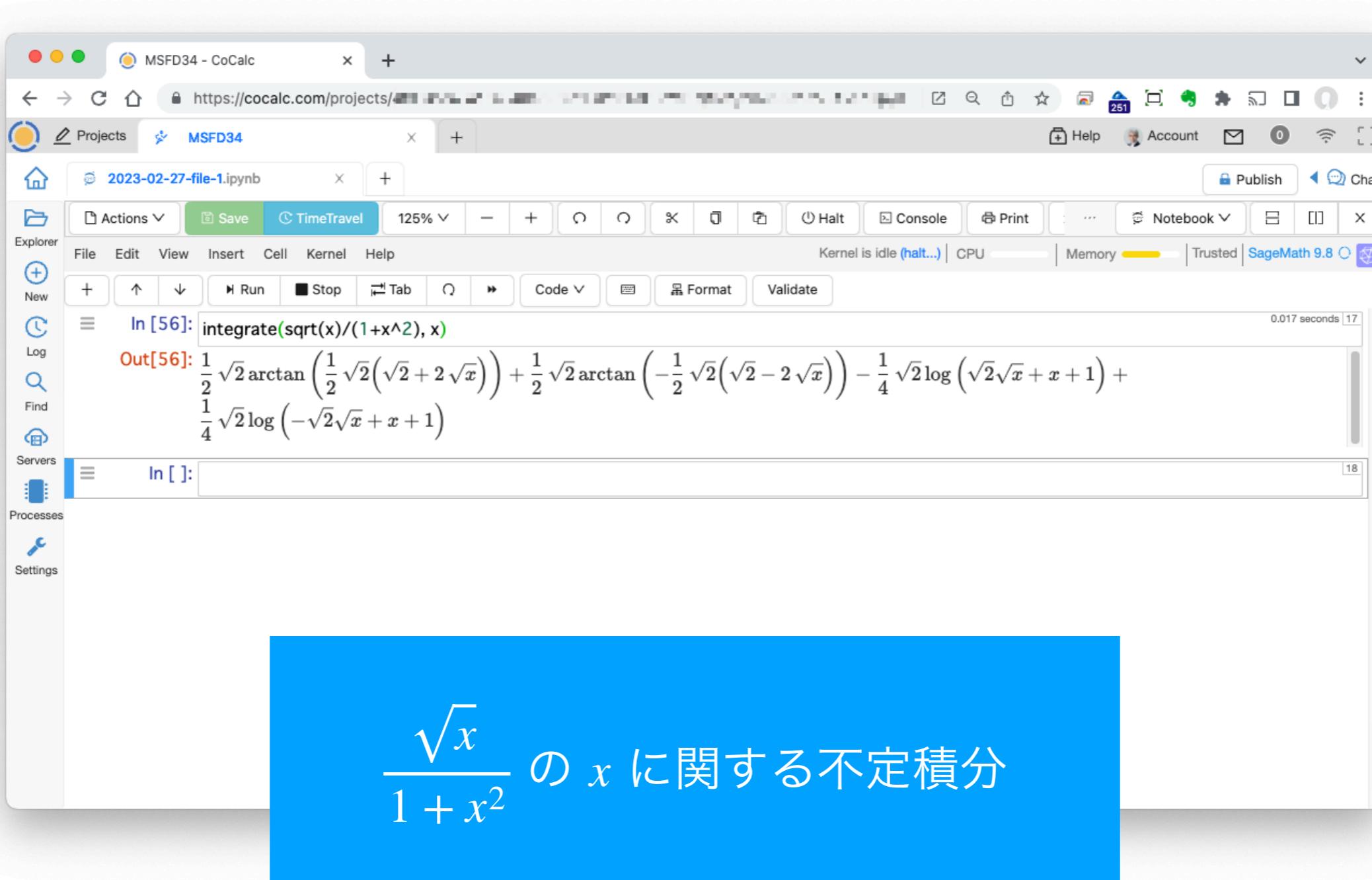
数式処理システム SageMath

計算例

- 関数描画（前のスライド）
- 数を厳密な形で扱う（有理数、代数的数、…）
 - 浮動小数はメモリ容量が許す限り任意の精度で扱うことが可能
- 多項式の因数分解
- 初等関数の不定積分／定積分

数式処理システム SageMath

不定積分の計算例



The screenshot shows a SageMath notebook interface running on CoCalc. The notebook file is titled "2023-02-27-file-1.ipynb". In cell In [56], the command `integrate(sqrt(x)/(1+x^2), x)` is entered. The output, Out[56], displays the result in LaTeX format:

$$\frac{1}{2} \sqrt{2} \arctan\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} (\sqrt{2} + 2\sqrt{x})\right) + \frac{1}{2} \sqrt{2} \arctan\left(-\frac{1}{2} \sqrt{2} (\sqrt{2} - 2\sqrt{x})\right) - \frac{1}{4} \sqrt{2} \log\left(\sqrt{2}\sqrt{x} + x + 1\right) + \frac{1}{4} \sqrt{2} \log\left(-\sqrt{2}\sqrt{x} + x + 1\right)$$

The notebook interface includes a sidebar with "Projects", "MSFD34", "File", "Edit", "View", "Insert", "Cell", "Kernel", and "Help" menus. The "Kernel" status bar indicates "Kernel is idle (halt...) | CPU | Memory | Trusted | SageMath 9.8". The "Memory" tab is highlighted in yellow. The "Processes" and "Settings" sections are also visible.

$\frac{\sqrt{x}}{1+x^2}$ の x に関する不定積分

数式処理システム SageMath

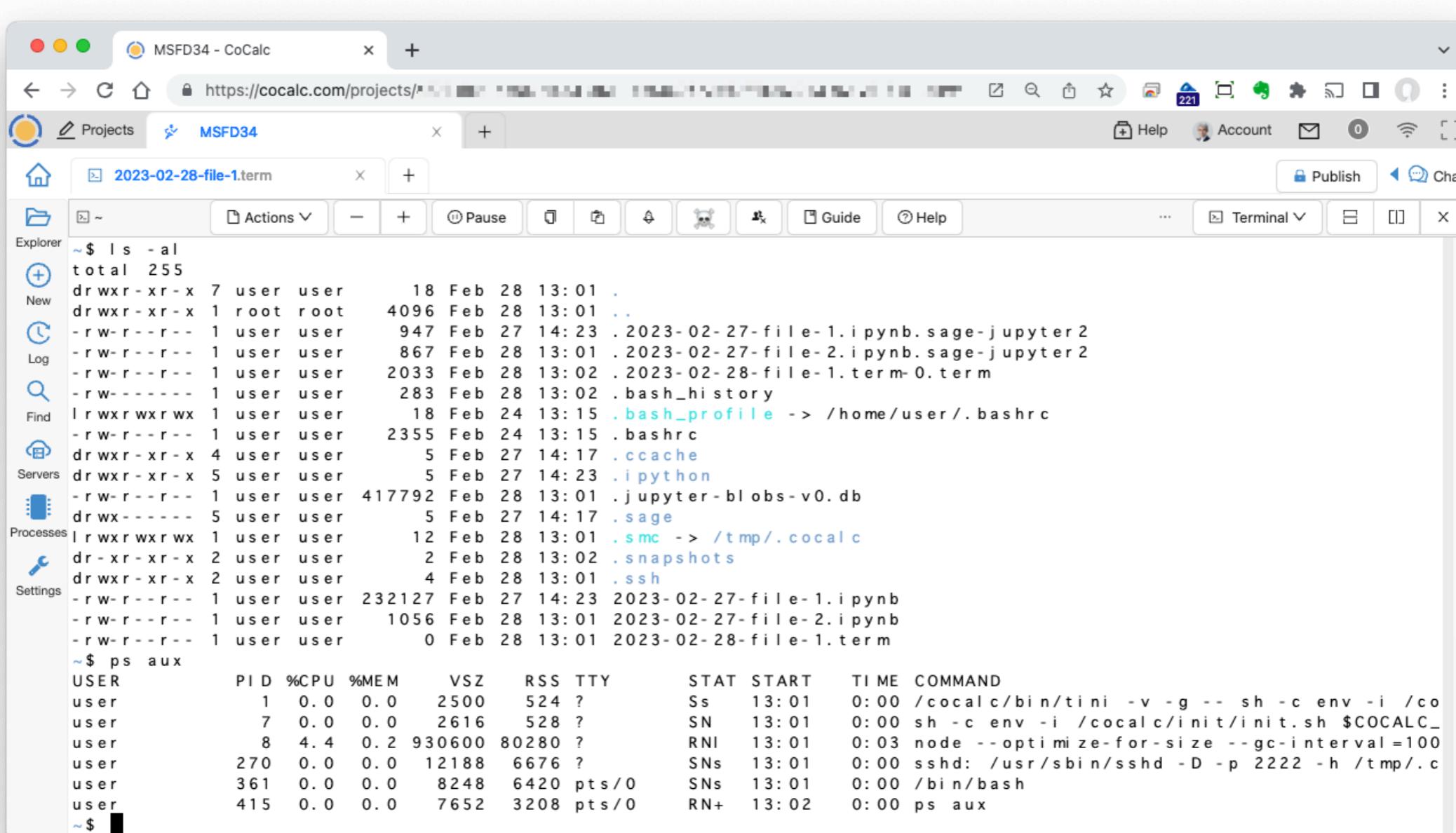
計算例

- ・ 関数描画（前のスライド）
- ・ 数を厳密な形で扱う（有理数、代数的数、…）
 - ・ 浮動小数はメモリ容量が許す限り任意の精度で扱うことが可能
- ・ 多項式の因数分解
- ・ 初等関数の不定積分／定積分

各種数式処理システムの機能を統合

CoCalc: Linuxターミナルの実行例

bashを実行中

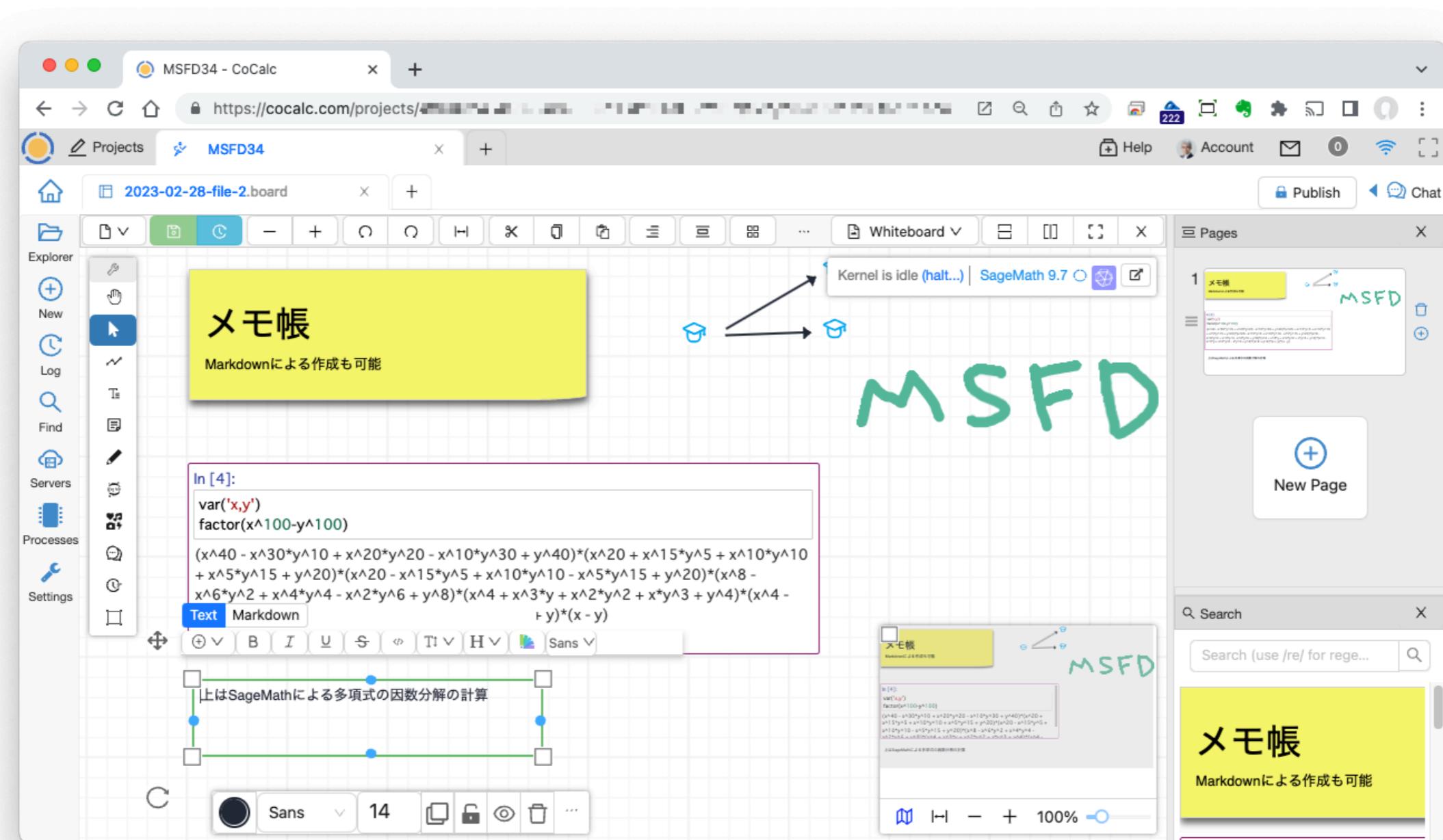


The screenshot shows a CoCalc project titled "MSFD34" with a terminal window open. The terminal displays the output of several commands:

```
~$ ls -al
total 255
drwxr-xr-x 7 user user    18 Feb 28 13:01 .
drwxr-xr-x 1 root root 4096 Feb 28 13:01 ..
-rw-r--r-- 1 user user    947 Feb 27 14:23 .2023-02-27-file-1.ipynb.sage-jupyter2
-rw-r--r-- 1 user user    867 Feb 28 13:01 .2023-02-27-file-2.ipynb.sage-jupyter2
-rw-r--r-- 1 user user   2033 Feb 28 13:02 .2023-02-28-file-1.term-0.term
-rw----- 1 user user    283 Feb 28 13:02 .bash_history
lrwxrwxrwx 1 user user    18 Feb 24 13:15 .bash_profile -> /home/user/.bashrc
-rw-r--r-- 1 user user   2355 Feb 24 13:15 .bashrc
drwxr-xr-x 4 user user     5 Feb 27 14:17 .ccache
drwxr-xr-x 5 user user     5 Feb 27 14:23 .ipython
-rw-r--r-- 1 user user 417792 Feb 28 13:01 .jupyter-blobs-v0.db
drwx----- 5 user user     5 Feb 27 14:17 .sage
lrwxrwxrwx 1 user user    12 Feb 28 13:01 .smc -> /tmp/.cocalc
dr-xr-xr-x 2 user user     2 Feb 28 13:02 .snapshots
drwxr-xr-x 2 user user     4 Feb 28 13:01 .ssh
-rw-r--r-- 1 user user 232127 Feb 27 14:23 2023-02-27-file-1.ipynb
-rw-r--r-- 1 user user  1056 Feb 28 13:01 2023-02-27-file-2.ipynb
-rw-r--r-- 1 user user     0 Feb 28 13:01 2023-02-28-file-1.term
~$ ps aux
USER      PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
user        1  0.0  0.0   2500   524 ?        Ss  13:01  0:00 /cocalc/bin/tini -v -g -- sh -c env -i /co
user        7  0.0  0.0   2616   528 ?        SN  13:01  0:00 sh -c env -i /cocalc/init/init.sh $COCALC_
user        8  4.4  0.2 930600  80280 ?       RNI  13:01  0:03 node --optimize-for-size --gc-interval=100
user      270  0.0  0.0  12188   6676 ?       SNS  13:01  0:00 sshd: /usr/sbin/sshd -D -p 2222 -h /tmp/.c
user      361  0.0  0.0   8248   6420 pts/0    SNS  13:01  0:00 /bin/bash
user      415  0.0  0.0   7652   3208 pts/0    RN+  13:02  0:00 ps aux
~$
```

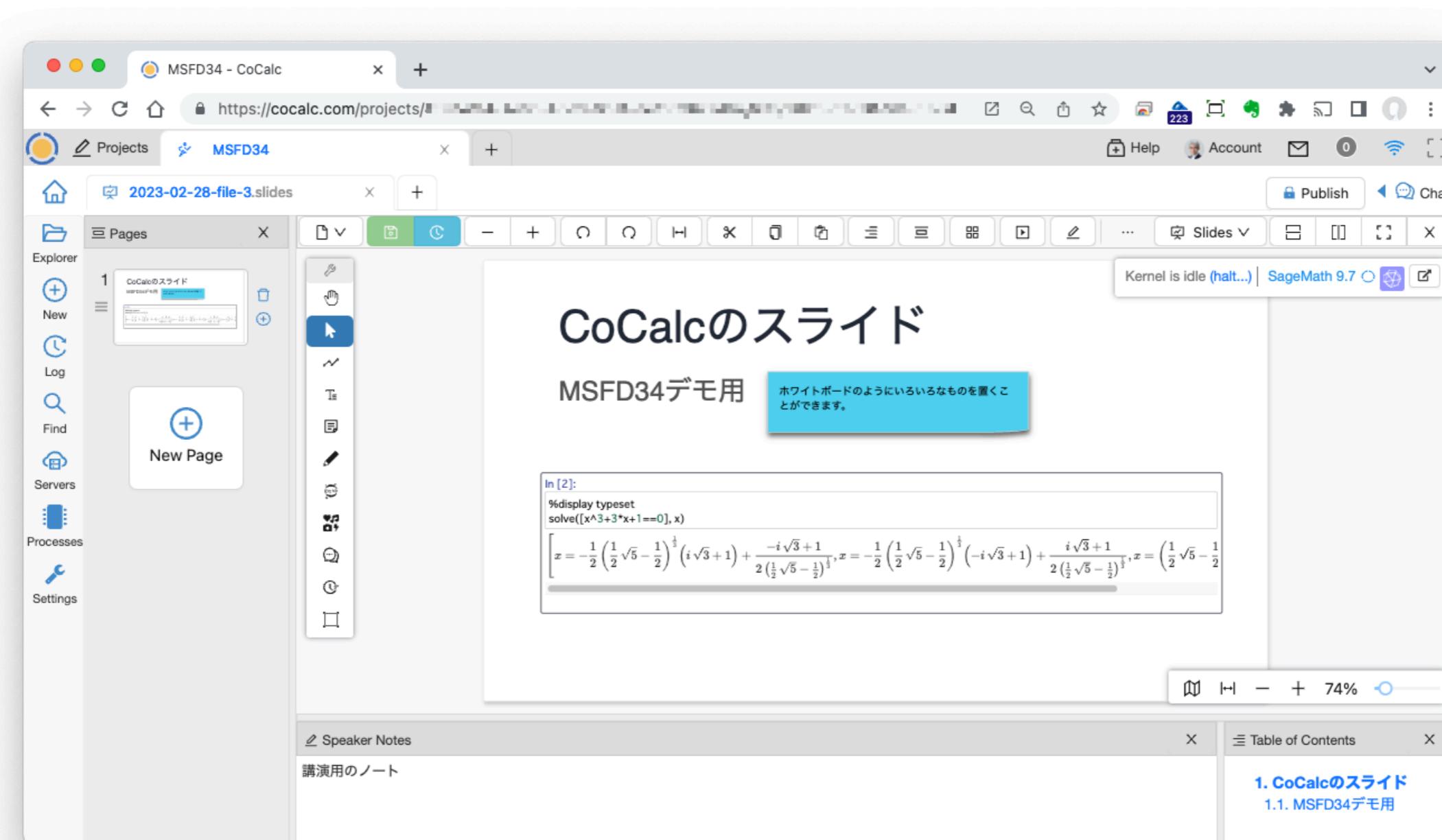
CoCalc: ホワイトボードの実行例

メモ、Jupyter Notebook、描画などを貼付可能



CoCalc: スライドの実行例

メモ、Jupyter Notebook、描画などを貼付可能



CoCalc: Markdownエディタの実行例

TeXによる組版が可能

The screenshot shows the CoCalc interface with a Markdown file open. The left sidebar contains project navigation and various settings. The main area displays a document titled "2023-02-28-file-4.md". The content of the document is as follows:

```
1 # $LaTeX$ について
2
3 この文書は、LaTeX編のテキストの各章、節を参照しますので、テキストとともに参照してください。
4
5 テキストの参照先は、👉の記号に続けて、章、節の番号と見出しを記載しています。
6
7 ## LaTeX とは
8
9 LaTeX とは、数式を含むデジタル文書を作成するためのソフトウェアです。\
10👉 第 1.1 節「TeX, LaTeXって何?」, 第 1.3 節「LaTeXって何?」
11
12 特に、数式を含む文書を出版物の品質で出力することができます。現在、純粋／応用数学をはじめとする
   の分野の論文や教科書は、LaTeXで執筆、出版されるのが標準的となっています。
13
14 テキストファイルに、見出しや箇条書きといった体裁、数式の命令を記述し、プログラムで一度に処理して
   PDFファイルを生成します。\
15👉 第 1.4 節「TeX, LaTeXの処理方式」, 第 1.5 節「TeX, LaTeXの処理の流れ」
16
17
18 ## LaTeX 文書の作り方
19
20 LaTeX による文書を作るのに必要な、以下の事項について紹介します。
21
22 1. LaTeX 文書を作るための道具
23 1. LaTeX 文書のファイルのルール
24 1. LaTeX 文書からPDFファイルの生成(コンパイル)
```

The right side of the interface shows the rendered LaTeX content, which includes sections like "LaTeX について", "LaTeX とは", and "LaTeX 文書の作り方", each with its corresponding content and references.

CoCalc: R Markdownエディタの実行例

R (統計計算環境)の計算結果の埋め込みが可能

The screenshot shows the CoCalc interface for editing an R Markdown file. The left sidebar contains project navigation, a file tree, and various settings like New, Log, Find, Servers, and Processes. The main area has a toolbar with bold, italic, underline, etc., buttons, and a code editor with a syntax-highlighting toolbar above it. The code editor shows the following R code:

```
1 # R Markdownの利用例
2
3 ## FisherとAndersonによるアヤメの分類データの例
4
5 FISHER, R.A. (1936), THE USE OF MULTIPLE MEASUREMENTS IN TAXONOMIC PROBLEMS.
Annals of Eugenics, 7: 179-188. https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x
6
7 3品種のアヤメに関するがく片 (Sepal) と花弁 (Petal) の長さと幅のデータ
8
9 ````{r}
10 head(iris)
11 ````
```

The right side displays the converted HTML output. It includes a title "R Markdownの利用例" and a subtitle "FisherとAndersonによるアヤメの分類データの例". Below this, there is a summary of the dataset and its source. A code block shows the command `head(iris)`, and the resulting data table is displayed:

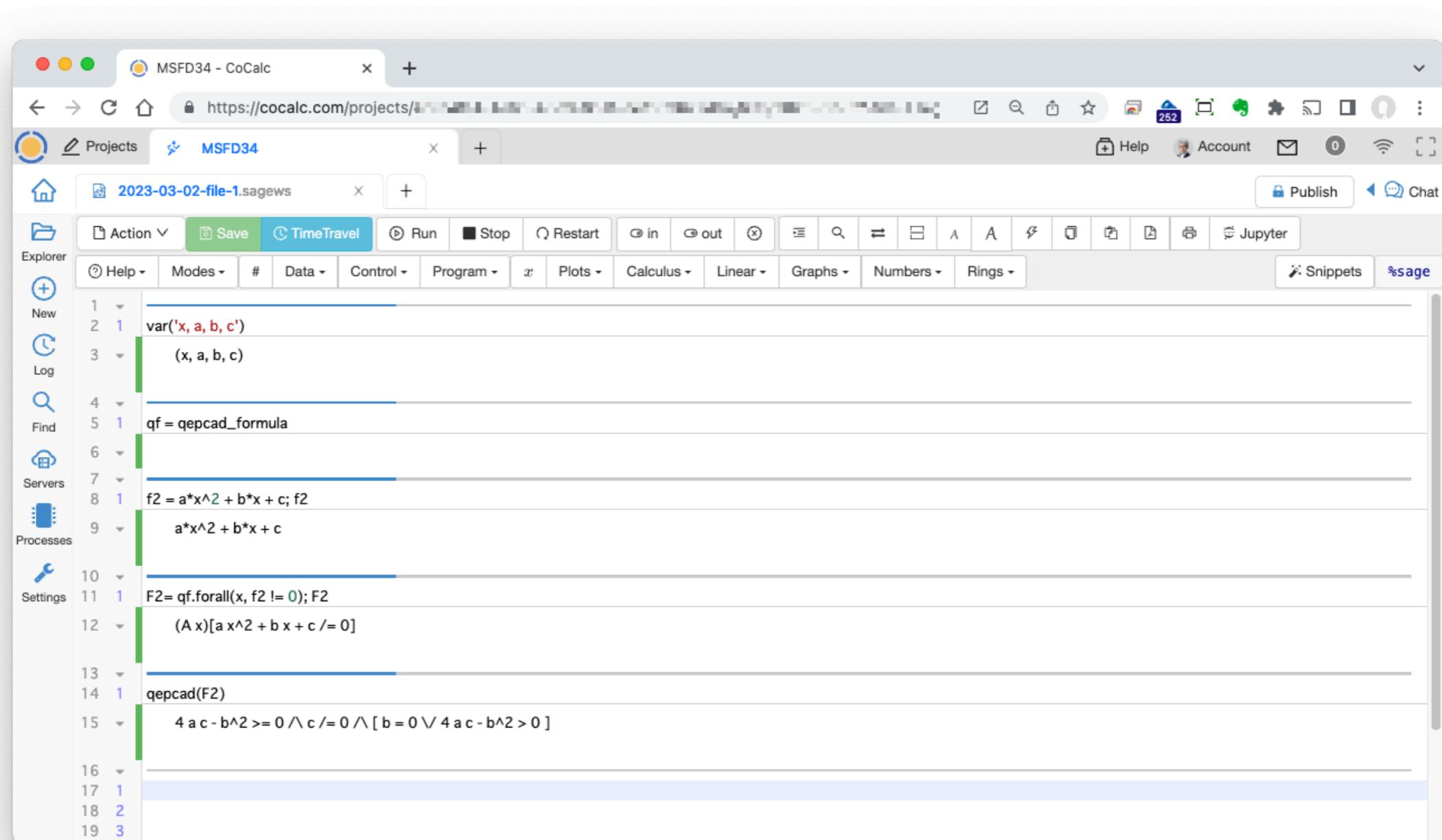
	Sepal.Length	Sepal.Width	Petal.Length	Petal.Width	Species
## 1	5.1	3.5	1.4	0.2	setosa
## 2	4.9	3.0	1.4	0.2	setosa
## 3	4.7	3.2	1.3	0.2	setosa
## 4	4.6	3.1	1.5	0.2	setosa
## 5	5.0	3.6	1.4	0.2	setosa
## 6	5.4	3.9	1.7	0.4	setosa

At the bottom, a "Build Log" window shows the command used to generate the HTML:

```
/usr/bin/pandoc +RTS -K512m -RTS 2023-03-04-file-4.knit.md --to html4 --from markdown+autolink_bare_uris+tex_math_single_backslash --output 2023-03-04-file-4.html --lua-filter /usr/local/lib/R/site-library/rmarkdown/lua/pagebreak.lua
```

CoCalc: Sageワークシートの実行例

Sageモードで実行中

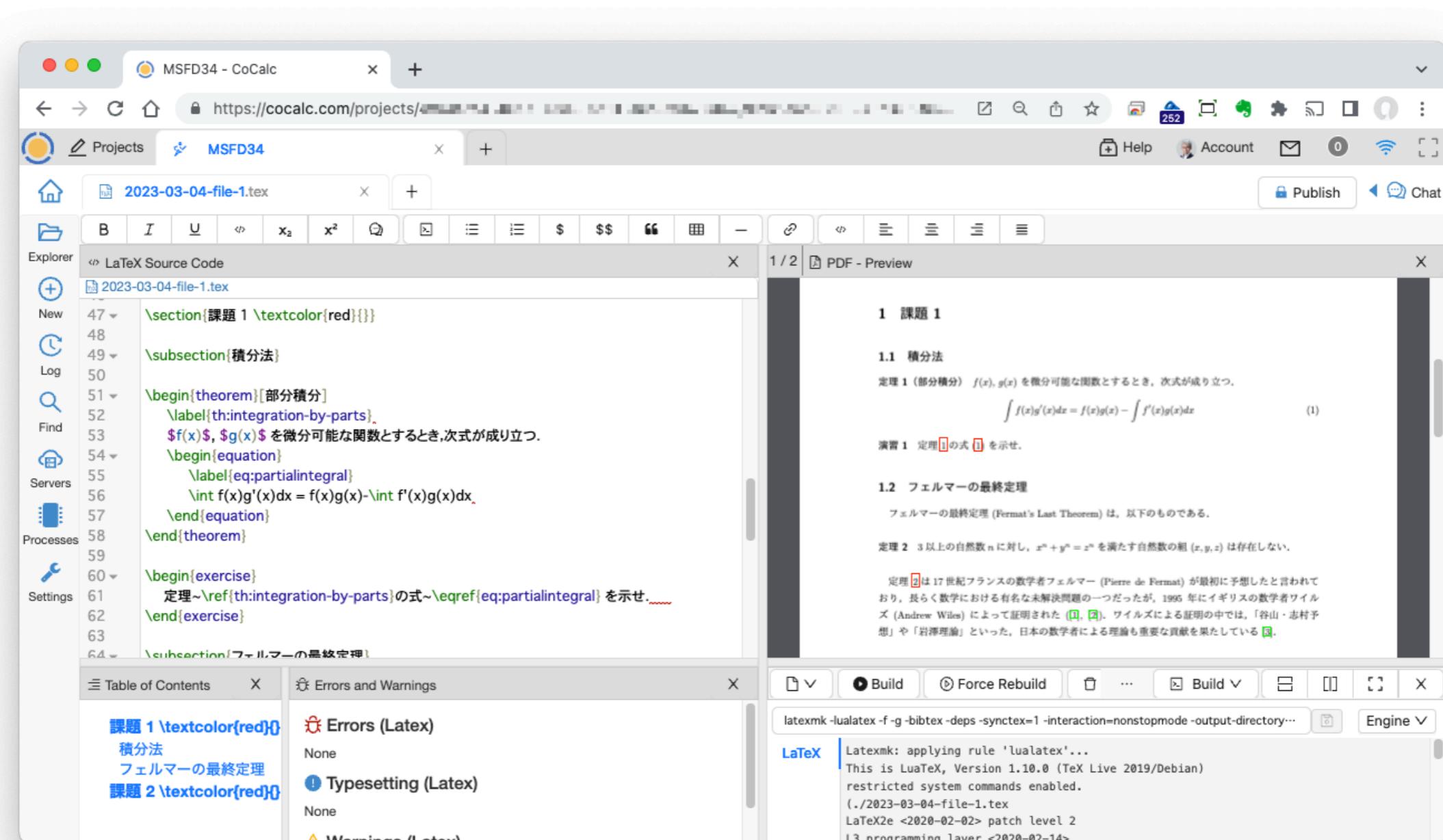


The screenshot shows a CoCalc Sage worksheet titled "2023-03-02-file-1.sagews". The code being executed is:

```
1 var('x, a, b, c')
2 (x, a, b, c)
3 
4 qf = qepcad_formula
5 
6 f2 = a*x^2 + b*x + c; f2
7 
8 a*x^2 + b*x + c
9 
10 F2 = qf.forall(x, f2 != 0); F2
11 
12 (A x)[a x^2 + b x + c / = 0]
13 
14 qepcad(F2)
15 
16 4 a c - b^2 >= 0 /& c / = 0 /& [ b = 0 \vee 4 a c - b^2 > 0 ]
17 
18 
19 
```

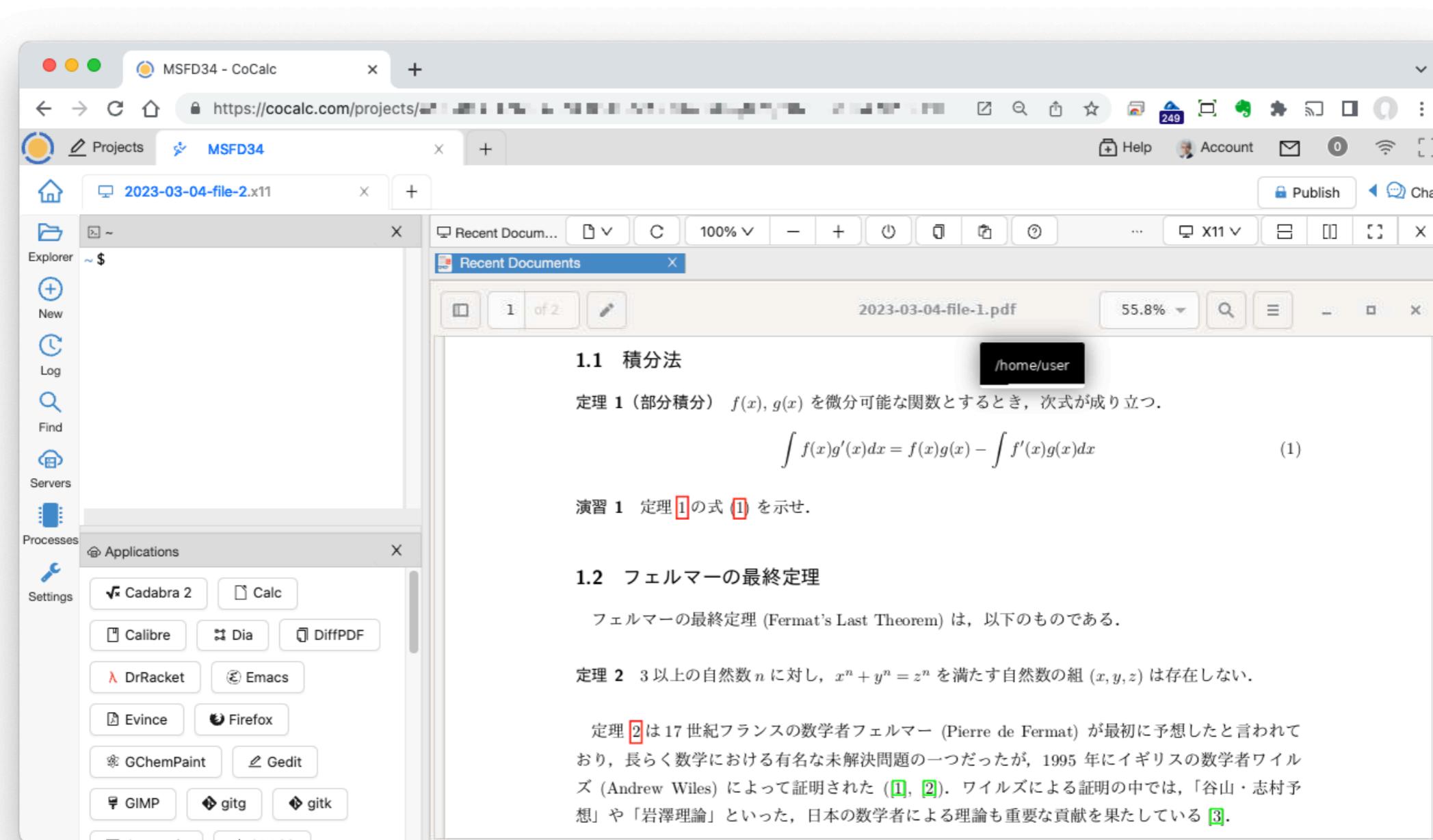
CoCalc: LaTeXエディタの実行例

LuaLaTeXの使用により日本語の組版も可能



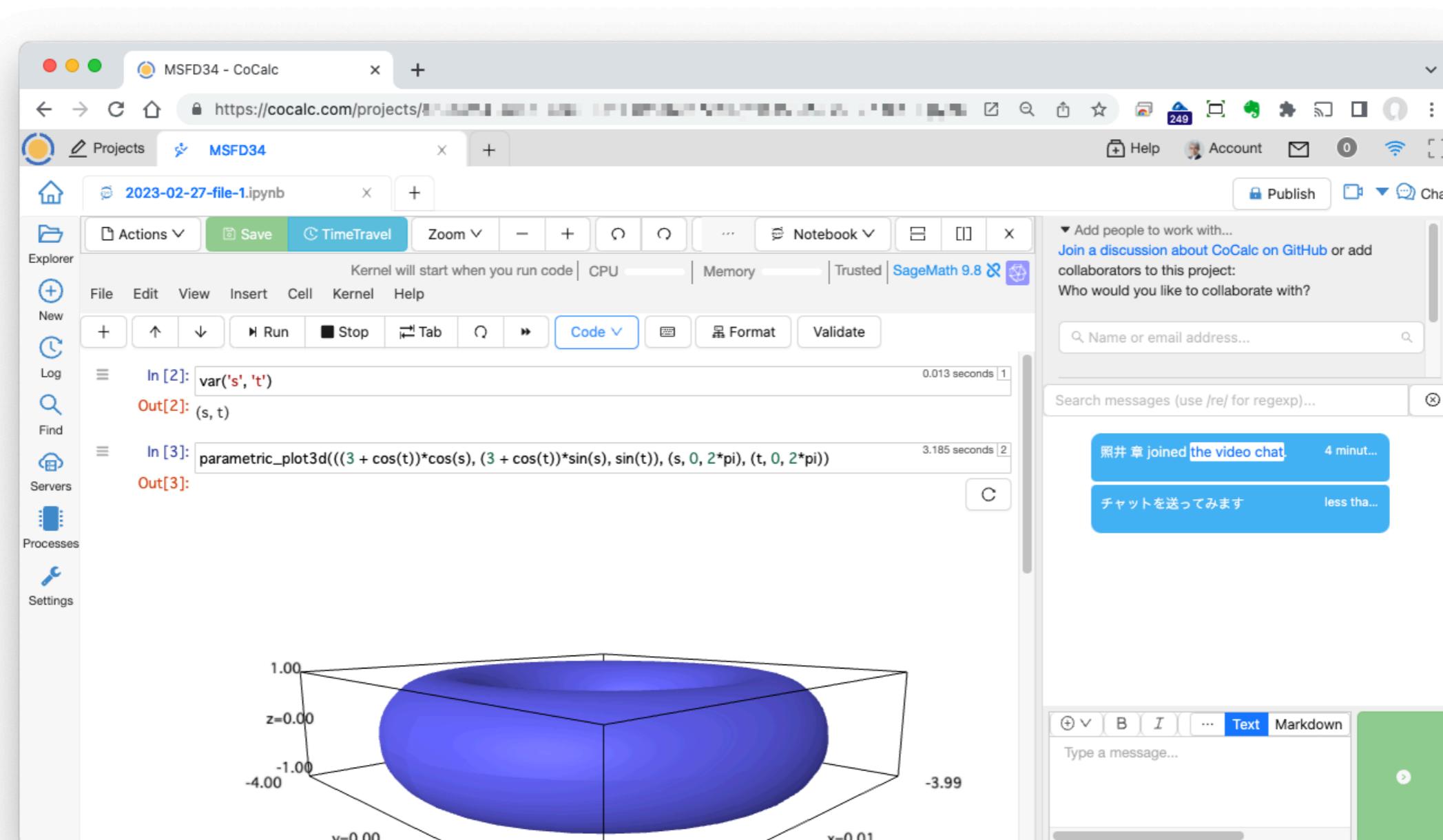
CoCalc: X11デスクトップの実行例

Evince (PDFファイルプレビューア) の実行例

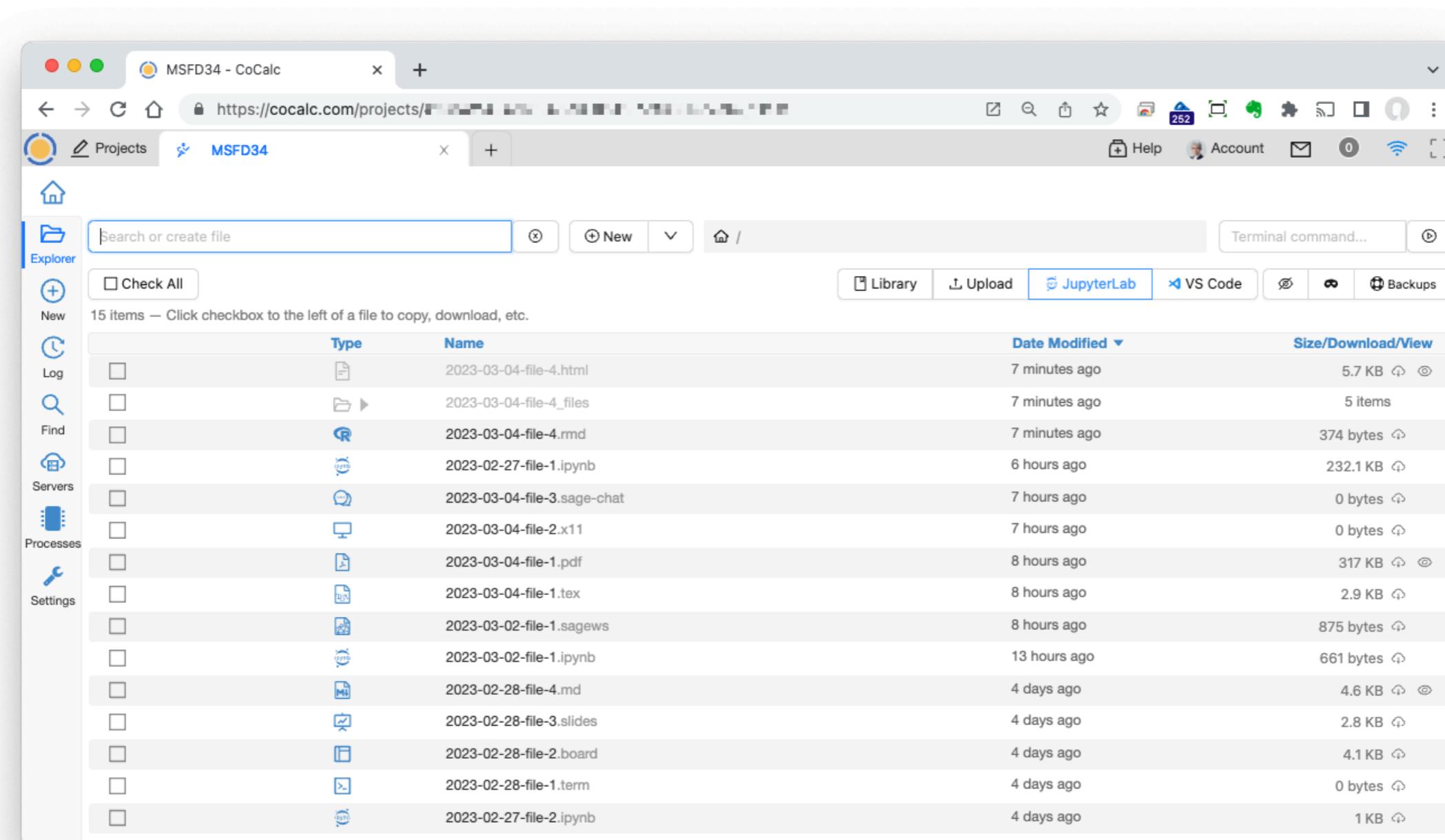


CoCalc: チャットの実行例

SageMath (Jupyter Notebook) と同時使用の例

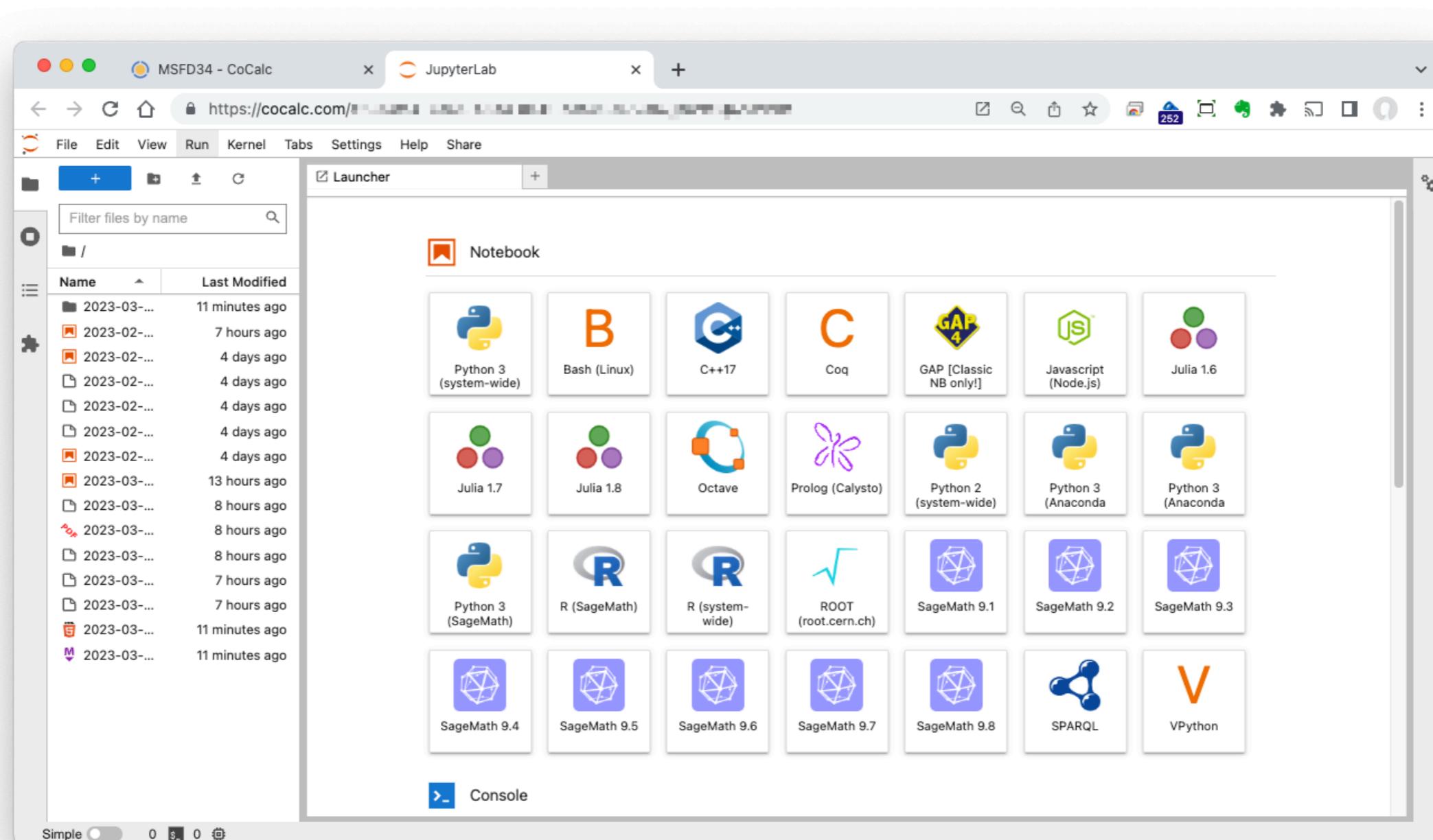


CoCalc: JupyterLabの起動



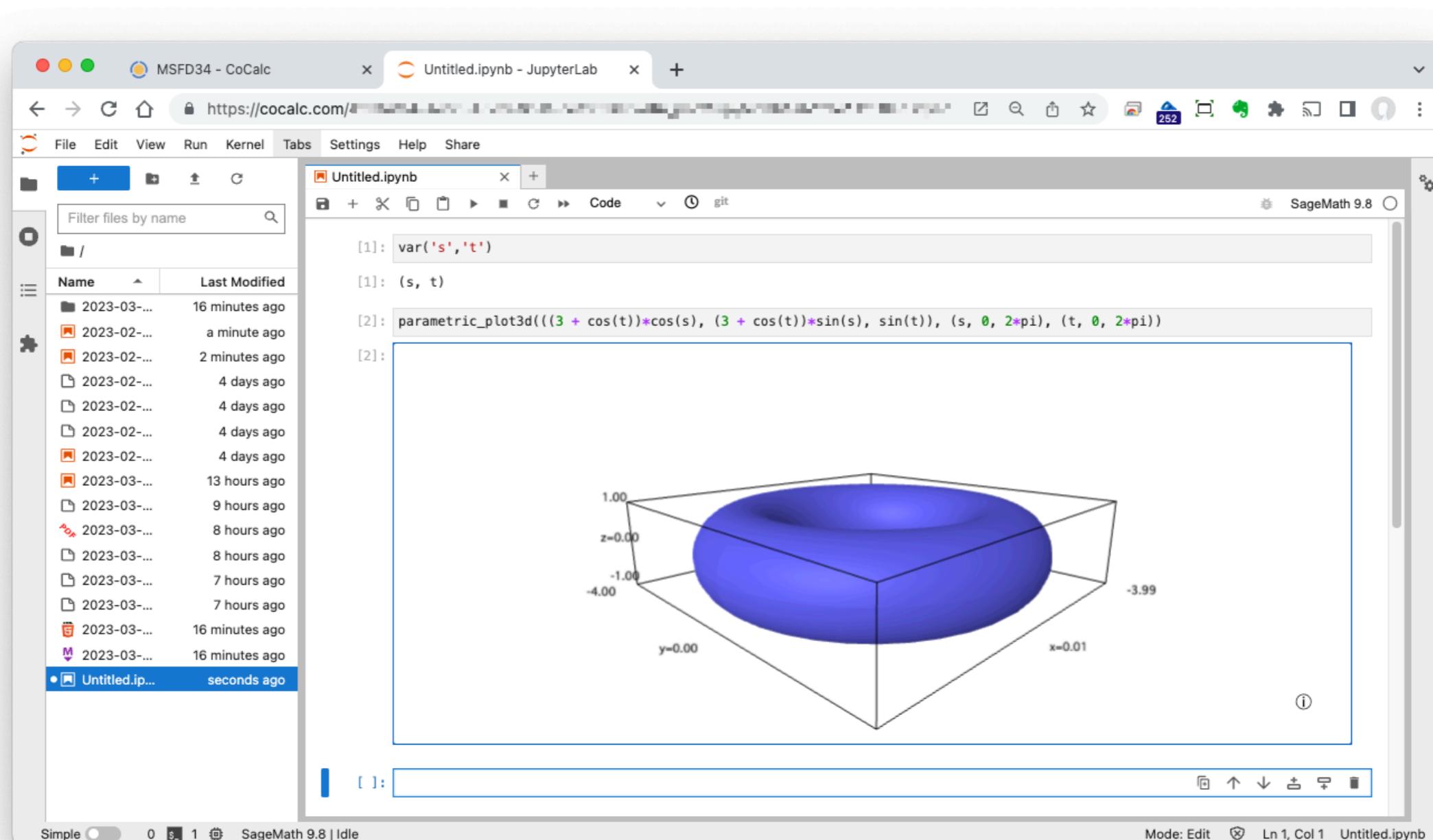
CoCalc: JupyterLabの起動

Jupyter Notebookと同じアプリケーションを選択可能

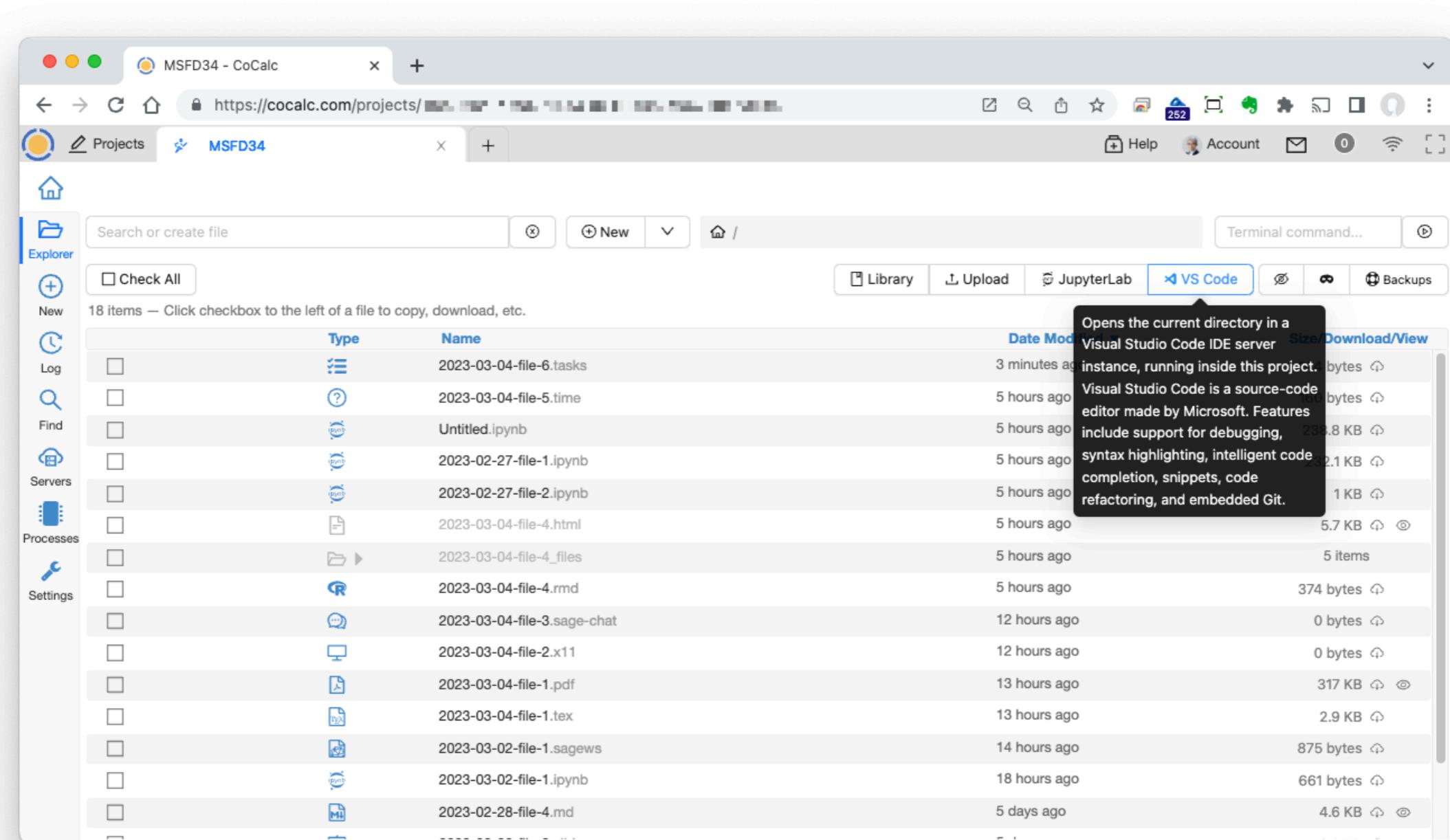


CoCalc: JupyterLabの実行例

SageMath 9.8の実行例

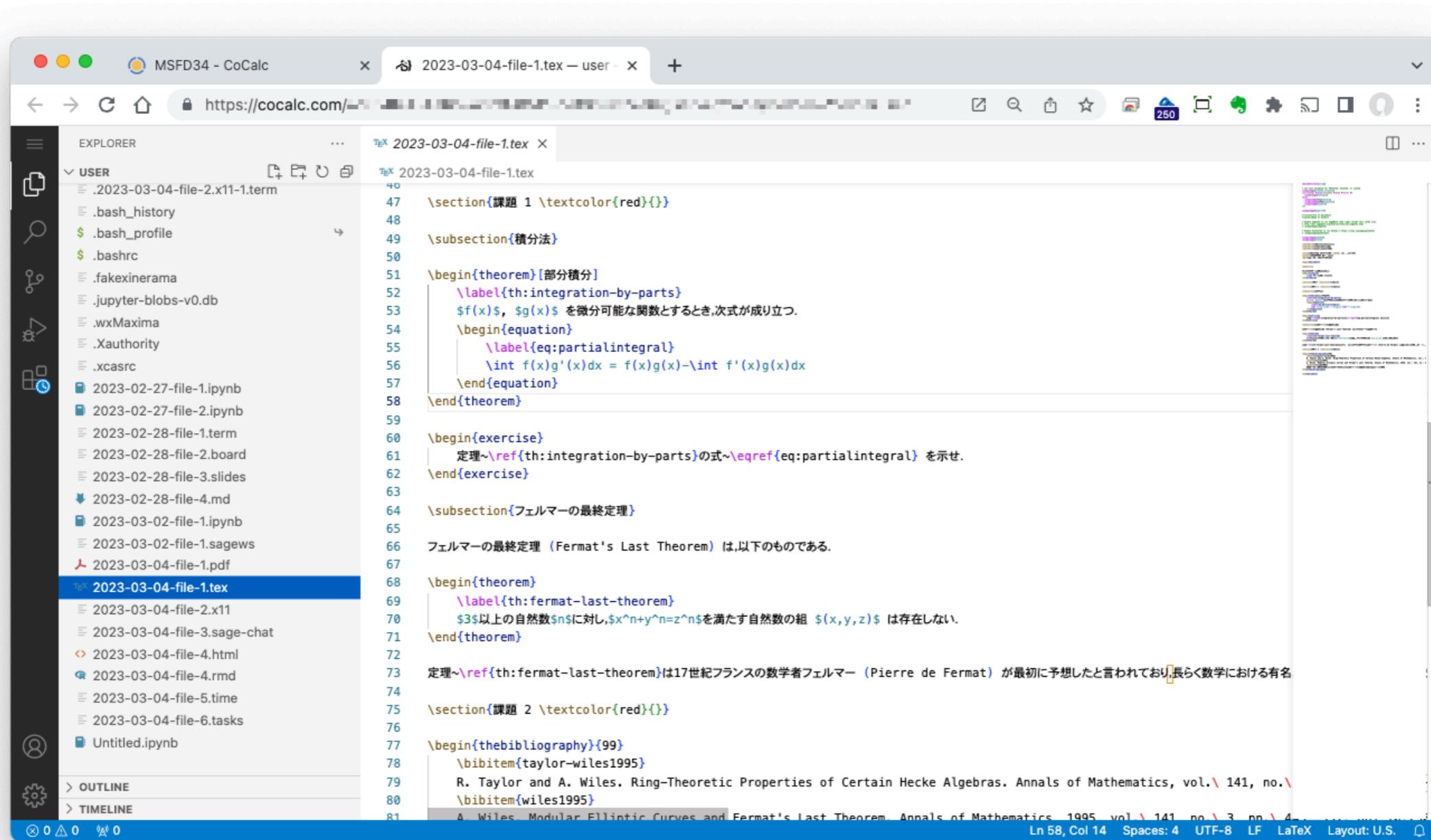


CoCalc: Visual Studio Codeの起動



CoCalc: Visual Studio Codeの実行例

LaTeX文書の編集例



The screenshot shows the CoCalc interface with the following details:

- File Explorer:** On the left, under the "USER" section, the file "2023-03-04-file-1.tex" is selected.
- Code Editor:** The main area displays LaTeX code. The visible portion of the code includes:

```
\section{課題 1 \textcolor{red}{\{}}\}}
```

積分法

```
\begin{theorem}[部分積分]  
    \label{th:integration-by-parts}  
    $f(x)$, $g(x)$ を微分可能な関数とするとき, 次式が成立する.  
    \begin{equation}  
        \label{eq:partialintegral}  
        \int f(x)g'(x)dx = f(x)g(x) - \int f'(x)g(x)dx  
    \end{equation}
```

```
\end{theorem}
```

```
\begin{exercise}  
    定理~\ref{th:integration-by-parts}の式~\eqref{eq:partialintegral}を示せ.  
    \end{exercise}
```

```
\subsection{フェルマーの最終定理}
```

フェルマーの最終定理 (Fermat's Last Theorem) は, 以下のものである.

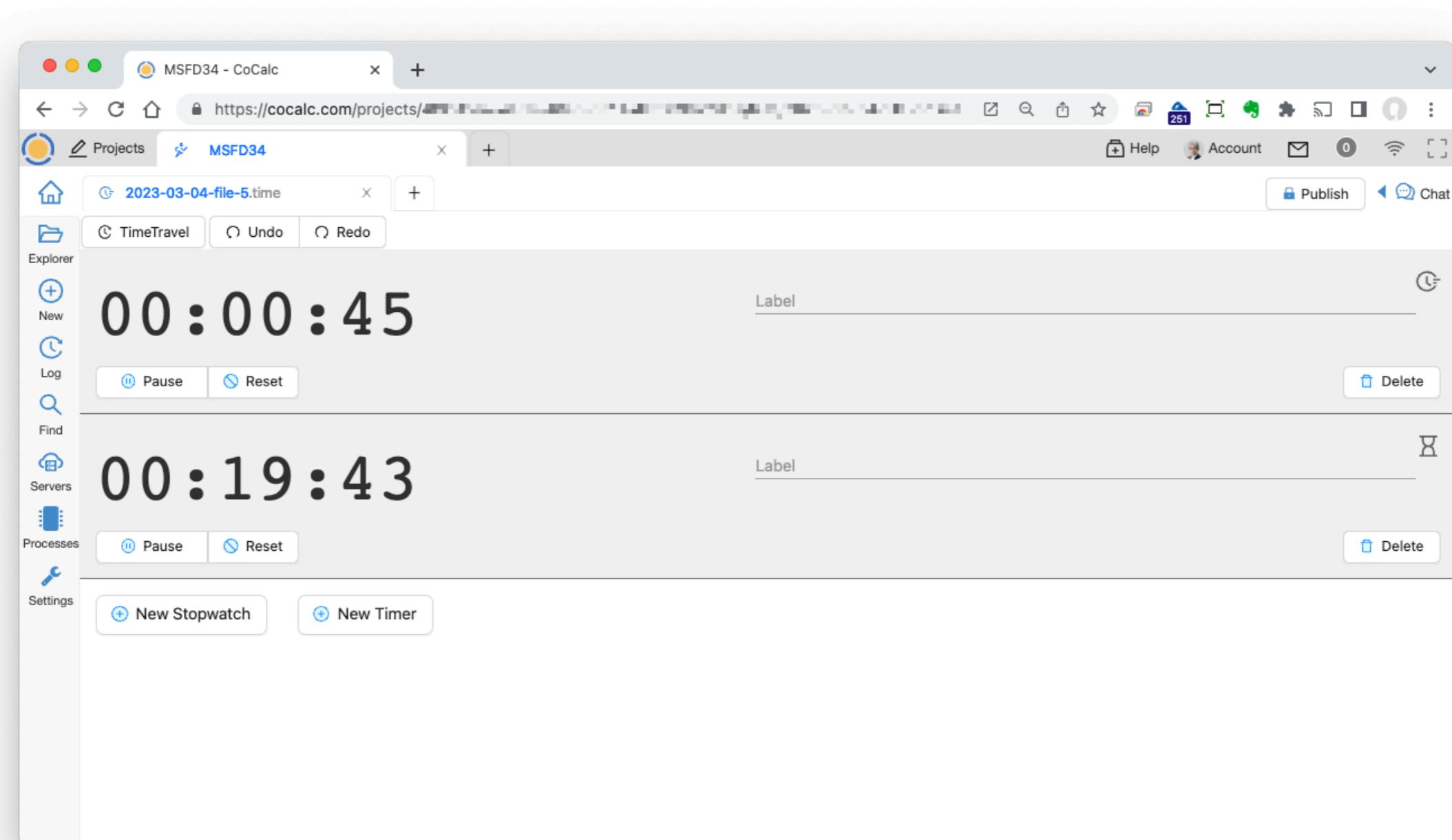
```
\begin{theorem}  
    \label{th:fermat-last-theorem}  
    $3$以上の自然数 $n$ に対し, $x^n + y^n = z^n$ を満たす自然数の組 $(x, y, z)$ は存在しない.  
    \end{theorem}
```

定理~\ref{th:fermat-last-theorem} は 17 世紀フランスの数学者 フェルマー (Pierre de Fermat) が最初に予想したと言われており, 長らく数学における有名未解決問題であった.

```
\section{課題 2 \textcolor{red}{\{}}\}}
```

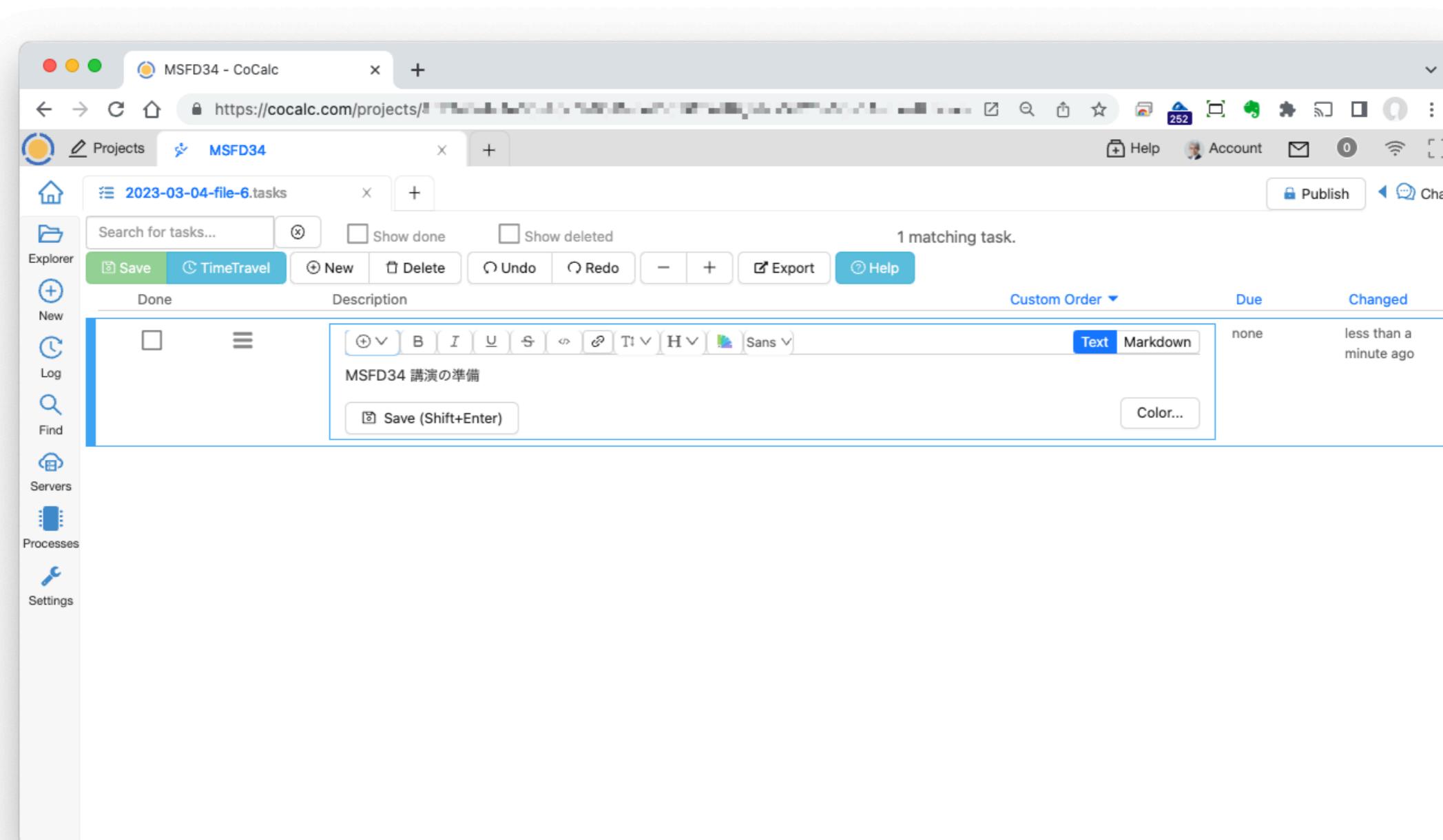
```
\begin{thebibliography}{99}  
    \bibitem{taylor-wiles1995}  
        R. Taylor and A. Wiles. Ring-Theoretic Properties of Certain Hecke Algebras. Annals of Mathematics, vol. 141, no. 3, pp. 553–572, 1995.  
    \bibitem{wiles1995}  
        A. Wiles. Modular Elliptic Curves and Fermat's Last Theorem. Annals of Mathematics, 1995, vol. 141, no. 3, pp. 443–551.
```
- Status Bar:** At the bottom, it shows "Ln 58, Col 14 Spaces: 4 UTF-8 LF LaTeX Layout: U.S."

CoCalc: タイマーの実行例



CoCalc: To Doリストの実行例

タスクの作成例



CoCalcのライセンス

いわゆる「フリーミアム」モデル

- 無料でも利用可能だが機能限定
 - 限定された計算機資源
 - インターネットアクセスなし
- CoCalcのソフトウェアはオープンソースで公開されている
<https://github.com/sagemathinc/cocalc>
 - 仮想環境 Docker のイメージも公開されている<https://github.com/sagemathinc/cocalc-docker>

CoCalcのライセンス

「プロジェクト」単位で課金

- ・メモリ容量、CPUコア数、ディスク容量、タイムアウト時間で細かく設定可能
- ・プロジェクトはユーザ間で共有可能
- ・契約期間：任意期間、月単位（10%割引）、年単位（15%割引）
- ・アカデミック割引あり

CoCalcのライセンス

「プロジェクト」単位で課金

- ・個人向けの小規模プラン（2023年3月現在）
 - ・2G RAM, 1 shared CPU, 3G disk, member hosting, 30 minutes timeout, network for 1 running project
 - ・アカデミック割引：月額 \$4.07, 年額 \$46.14
- ・オンプレミスプランもあり

学習管理システム

LMS (Learning Management System)

オンラインでの学習 (e-learning) の運用支援を行うソフトウェア

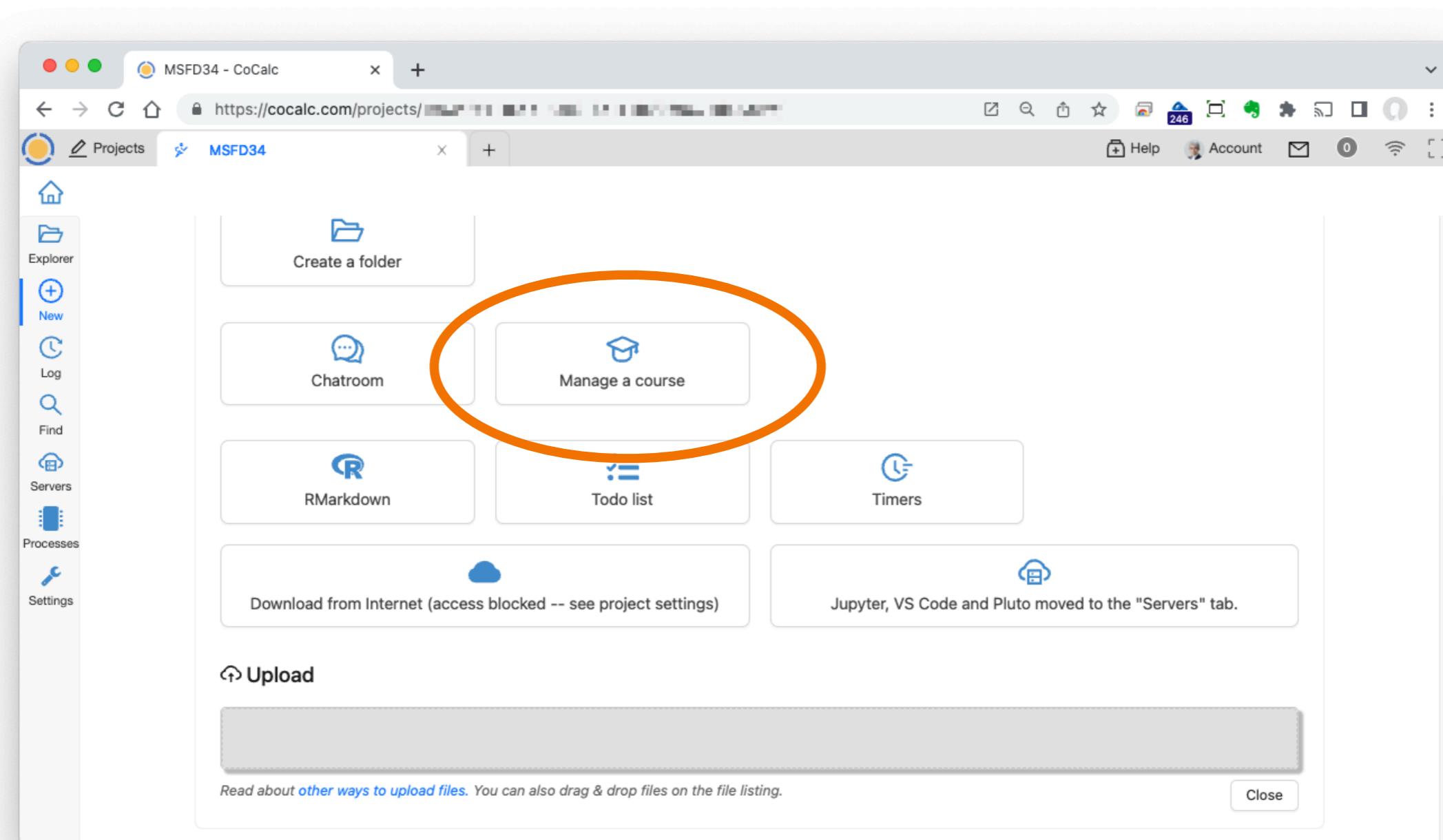
- ・教材や課題の配布
- ・レポートの回収、評価、返却
- ・テストやアンケートの作成、実施、評価
- ・成績の集計
- ・受講者間、あるいは受講者と教員間の情報共有（ニュースや掲示板、メッセンジャーなど）

学習管理システム (LMS) としてのCoCalc

- ・ 「コース」を作成
- ・ 受講者を追加
- ・ コースを設定
- ・ 配布資料や課題を追加
- ・ 課題を出題→回収→評価→返却
- ・ 成績を集計

学習管理システム (LMS) としてのCoCalc

「コース」ファイルの作成



学習管理システム (LMS) としてのCoCalc

学生の追加

The screenshot shows the CoCalc web interface for managing a course named 'MSFD34.course'. On the left, there's a sidebar with icons for Projects, Explore, New, Log, Find, Servers, Processes, and Settings. The main area has tabs for 'Students (0)', 'Assignments (0)', 'Handouts (0)', 'Configuration', and 'Shared Project'. A large orange circle highlights the 'Students (0)' tab. Another orange circle highlights the search bar labeled 'Add students by name or email address...' with a placeholder 'Search (shift+enter)'. A blue callout box with a white arrow points from the search bar towards the text '学生のメールアドレスを検索して追加' (Search for student email addresses and add them).

学生のメールアドレスを検索して追加

Add Students to your Course
Add some students to your course by entering their email addresses in the box in the upper right, then click on Search.

学習管理システム (LMS) としてのCoCalc

コースの設定

The screenshot shows the CoCalc web interface for managing a course named "MSFD34". The top navigation bar includes links for Help, Account, and Chat, along with a Publish button. On the left, there's a sidebar with icons for Projects, New, Log, Find, Servers, Processes, and Settings. The main area displays course settings under the "Configuration" tab, which is highlighted with an orange circle. The configuration section includes three main sections: "Require students to upgrade (students pay)", "Upgrade all student projects (institute pays)", and "Export grades". Under "Export grades", there are options to save grades to CSV file, JSON file, or Python file. To the right of the configuration tabs, there's a "Help" section with links to request a demo, an instructor guide, and course management documentation. Below that is a "Title and description" section where the title is set to "MSFD34" and the description is "No description". A note at the bottom states: "Set the course title and description here. When you change the title or description, the".

学習管理システム (LMS) としてのCoCalc

コースの主な設定内容

- ・ コースの名称や説明文
- ・ 受講者の招待状 (email) の送付
- ・ 受講者のライセンスの確保方法
 - ・ 受講者にライセンス料を負担させる
 - ・ 教員側が受講者のライセンス料を負担する

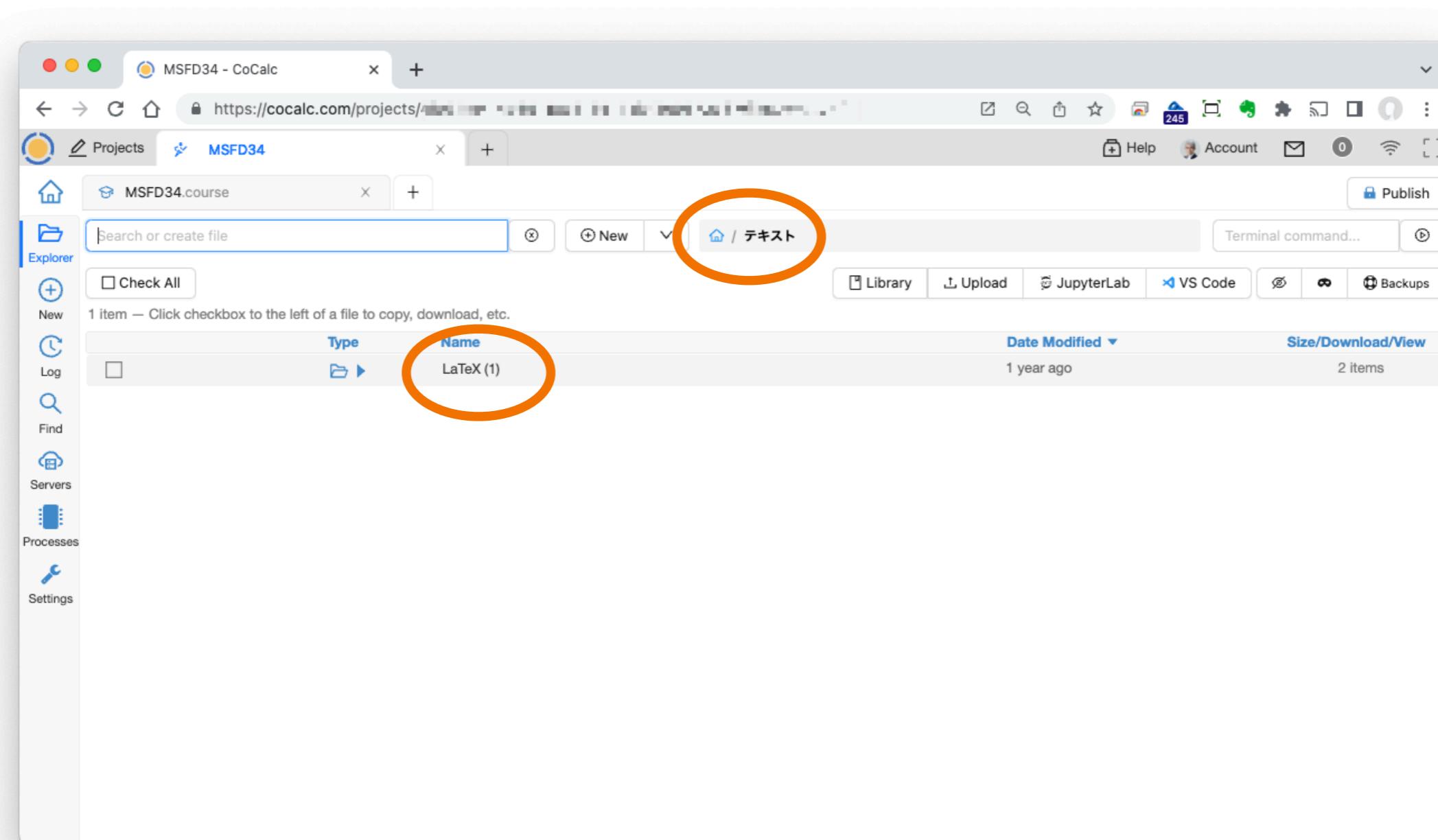
学習管理システム (LMS) としてのCoCalc

必要なライセンスの個数

- 教員 + ティーチングアシスタント (TA): 1個の教師用プロジェクトを共有 → ライセンスは1個
 - ただし、計算資源を教員とTAで共有するので、契約する計算資源 (CPU, メモリ) は若干多めにとった方がよいかもしれない
- 受講者: 受講者ごとにプロジェクトが作られる → 同時に走るプロジェクト数の分だけライセンスが必要
 - 受講者が同時に実習を行う場合、受講者数分だけライセンスが必要

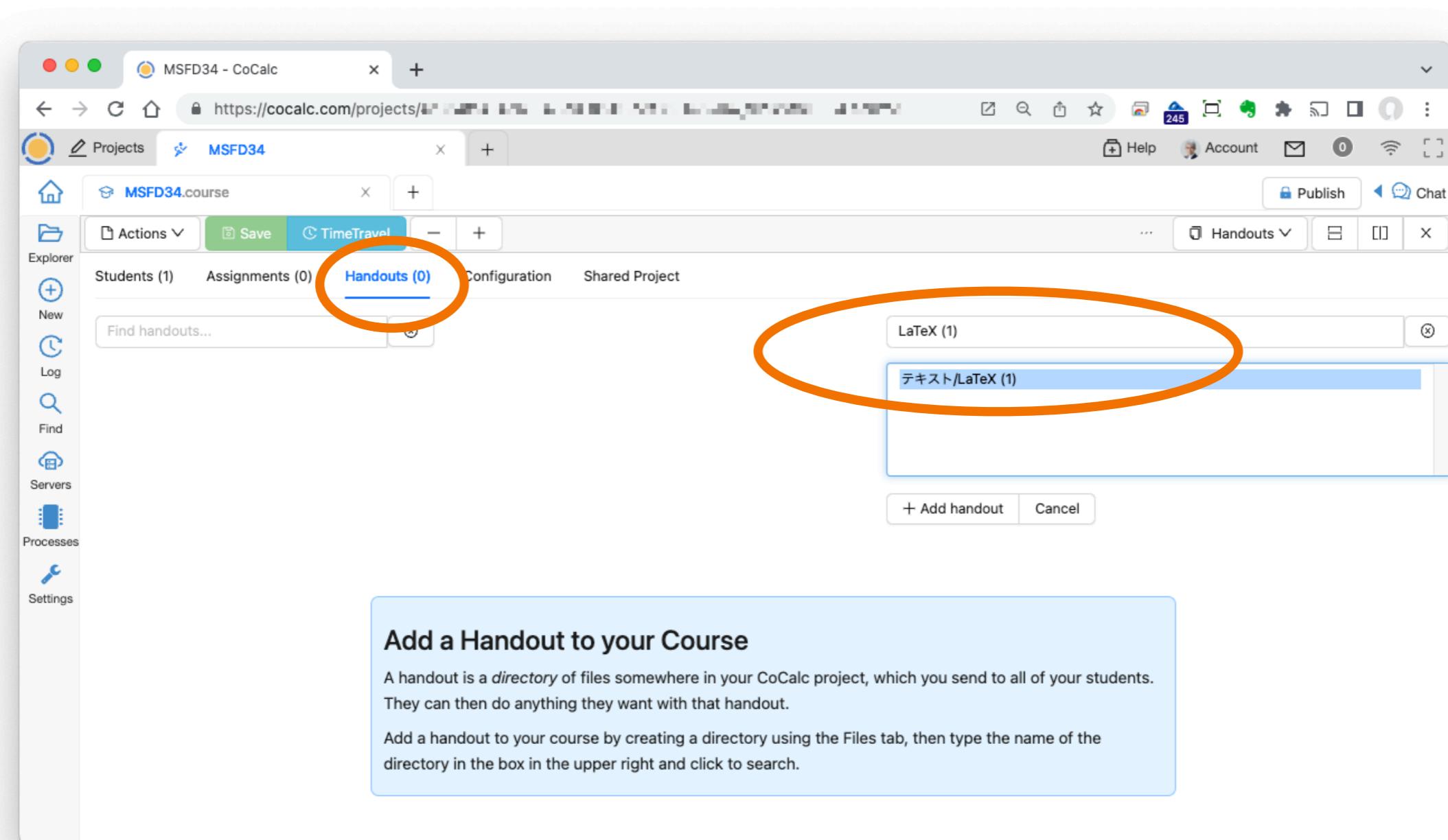
資料の配布

(1) あらかじめ配布資料のフォルダを作つておく: テキスト/LaTeX (1)



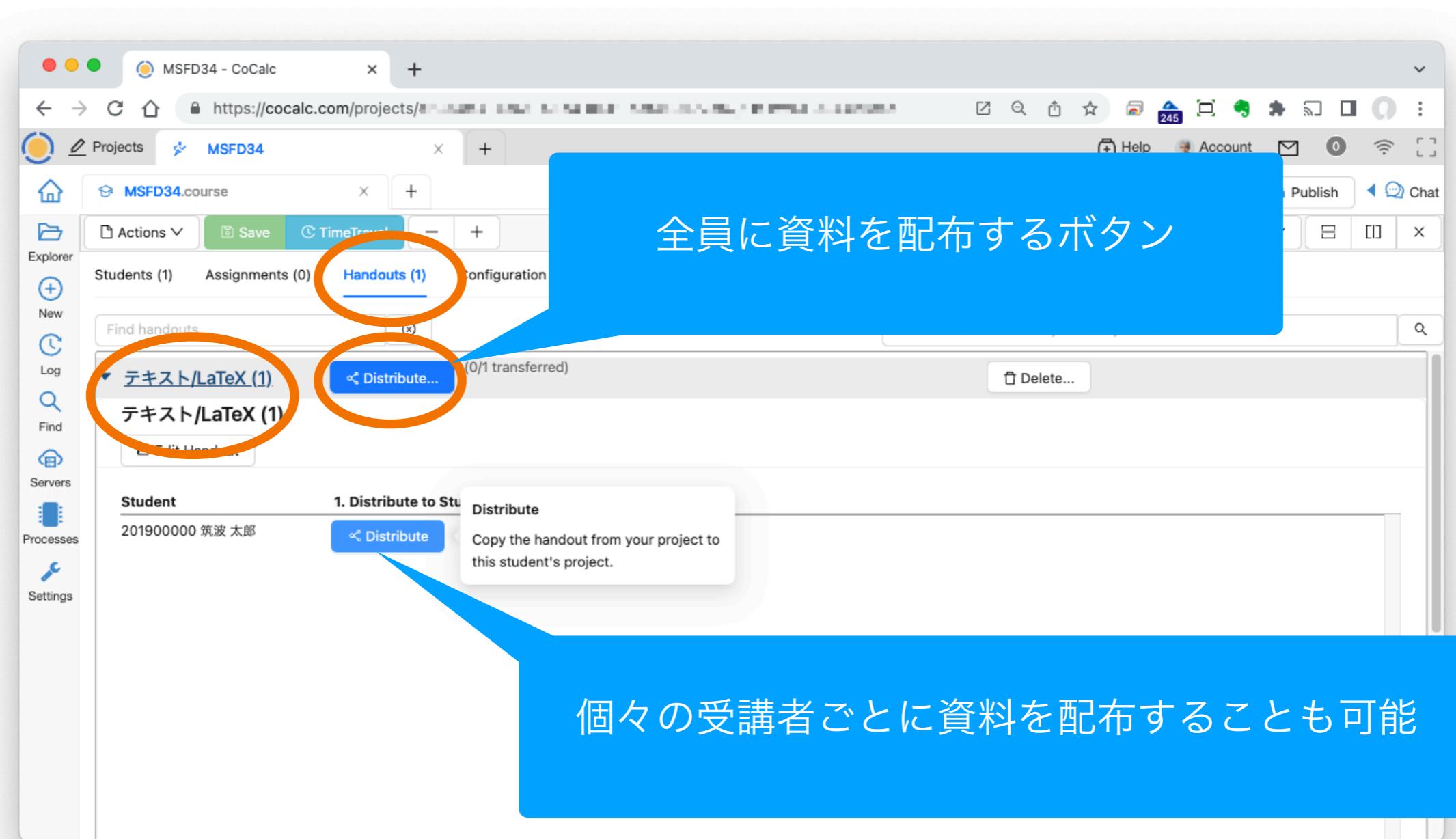
資料の配布

(2) コースファイルにて配布資料のフォルダを登録する



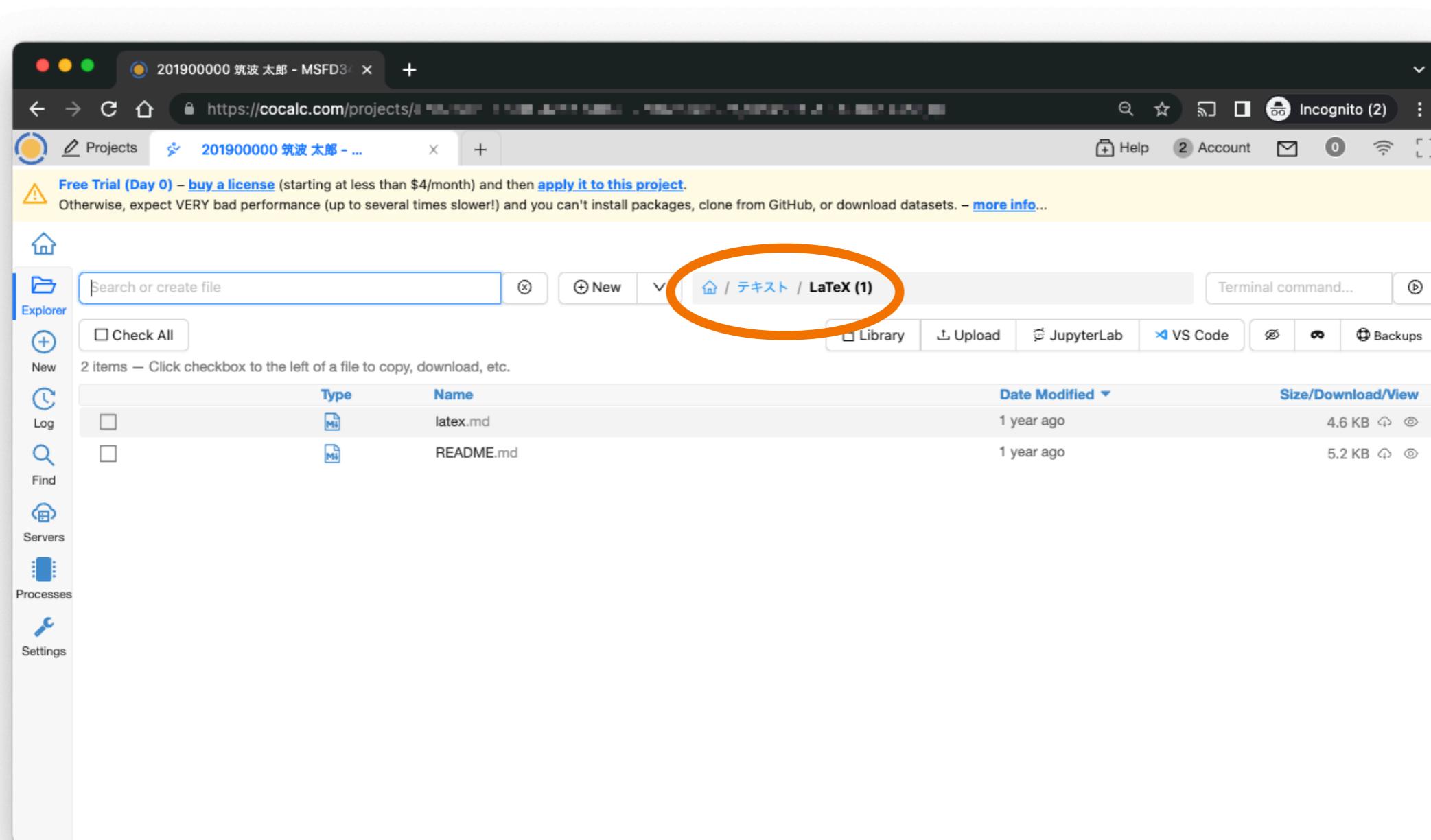
資料の配布

(3) コースファイルにて資料を配布する



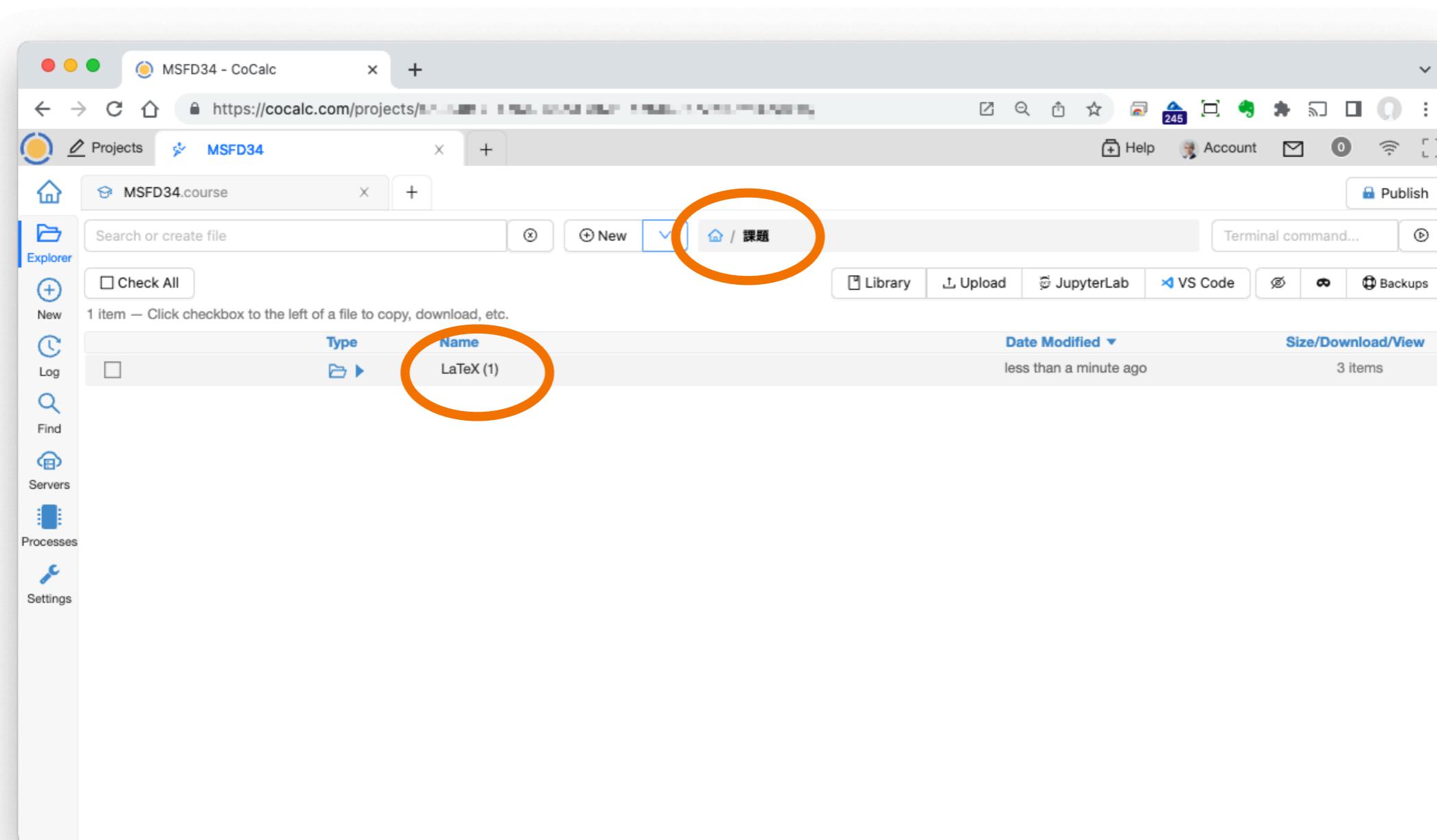
資料の配布

(4) 受講者側のプロジェクトに資料が配布された状態



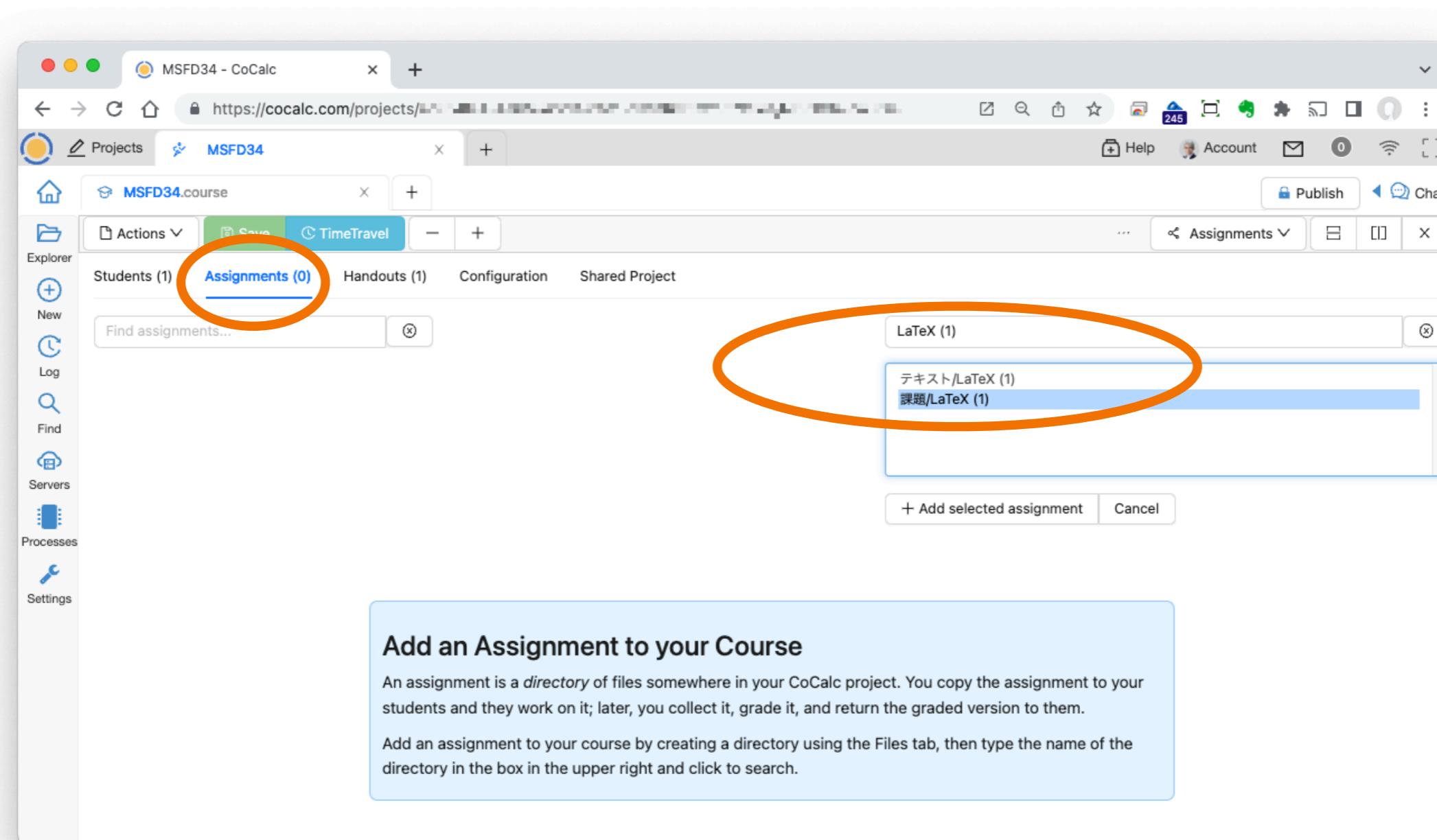
レポート課題の配布

(1) あらかじめ課題のフォルダを作つておく: 課題/LaTeX (1)



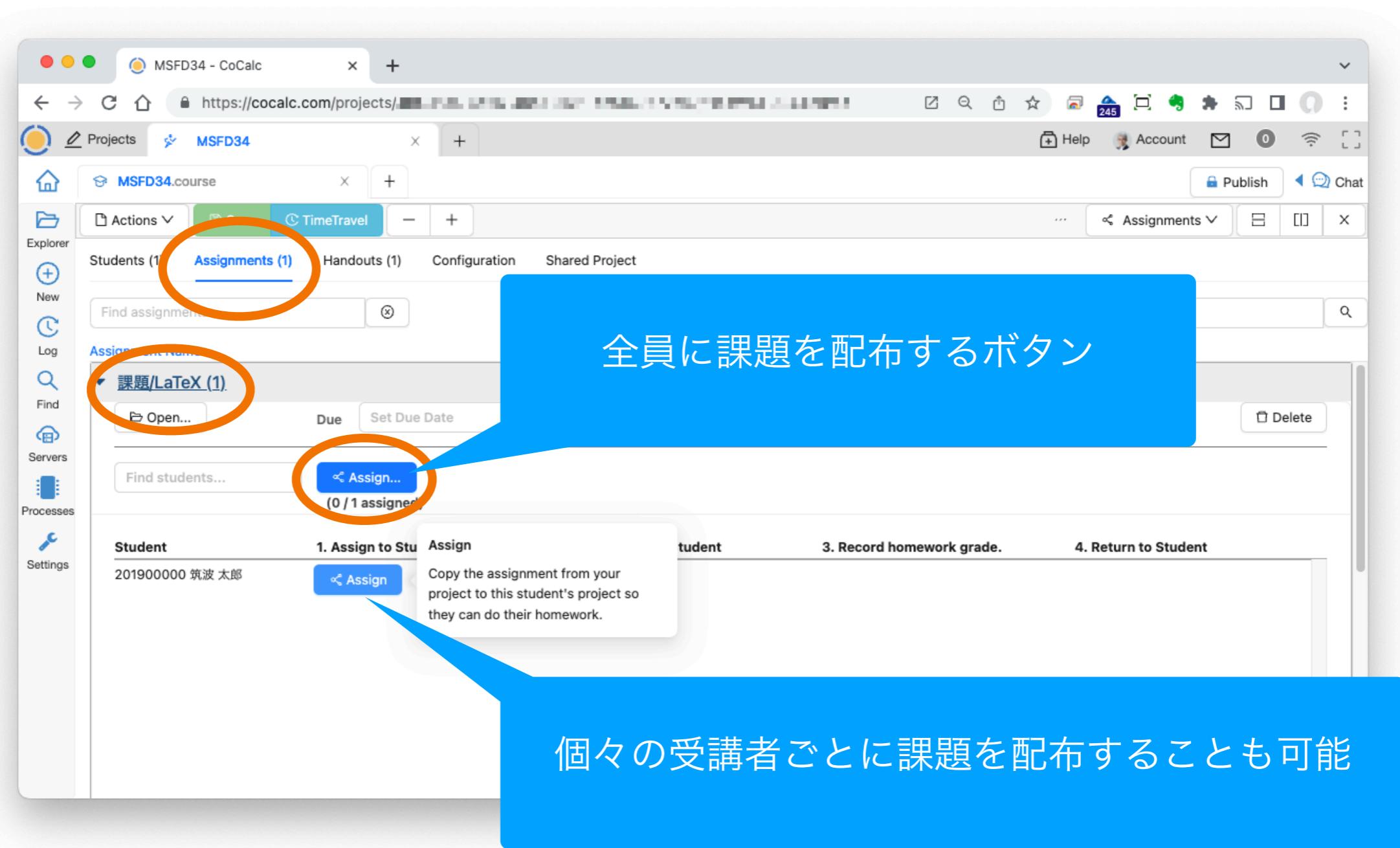
レポート課題の配布

(2) コースファイルにて課題のフォルダを登録する



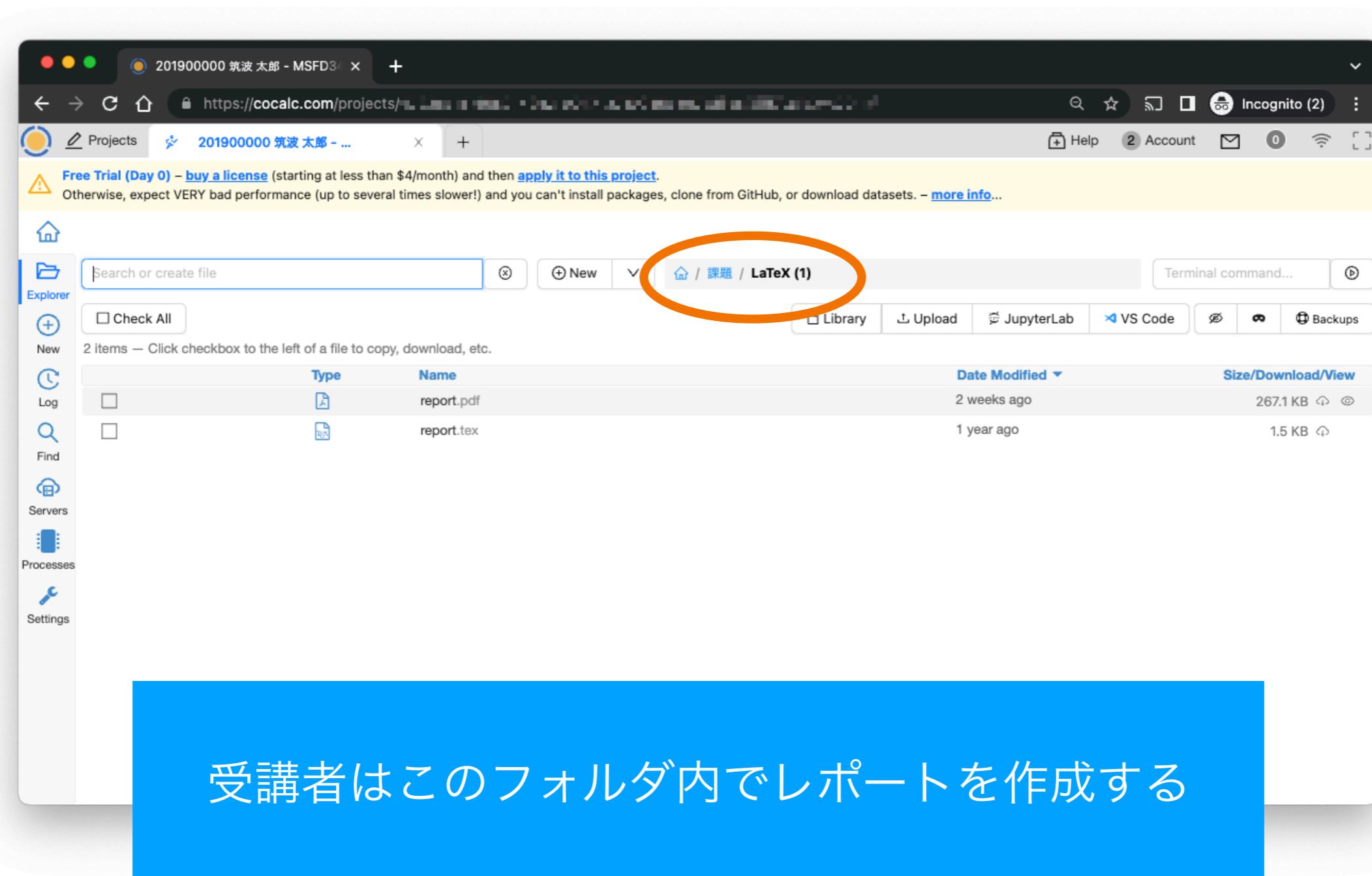
レポート課題の配布

(3) コースファイルにて課題を配布する



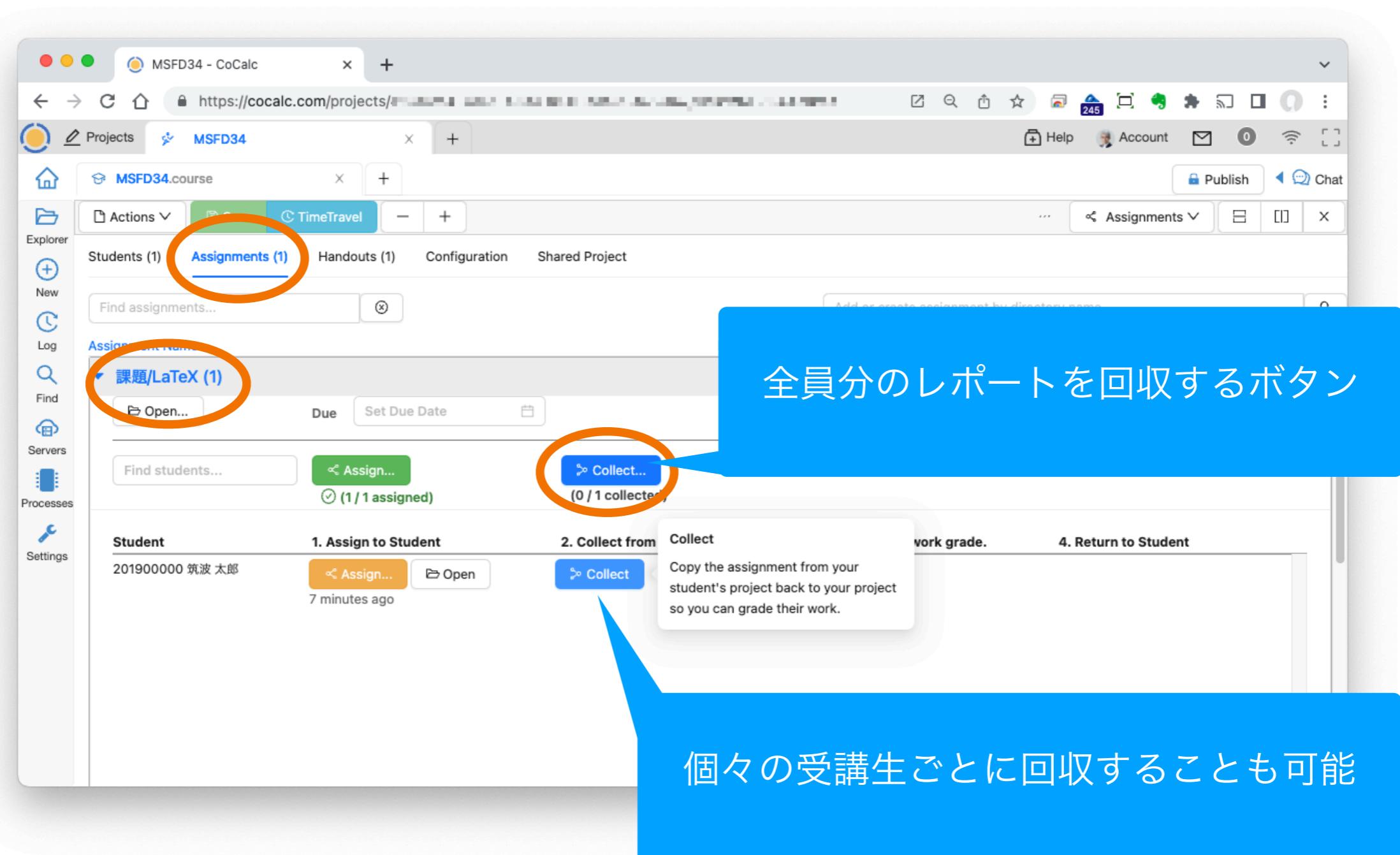
レポート課題の配布

(4) 受講者側のプロジェクトにレポート課題が配布された状態



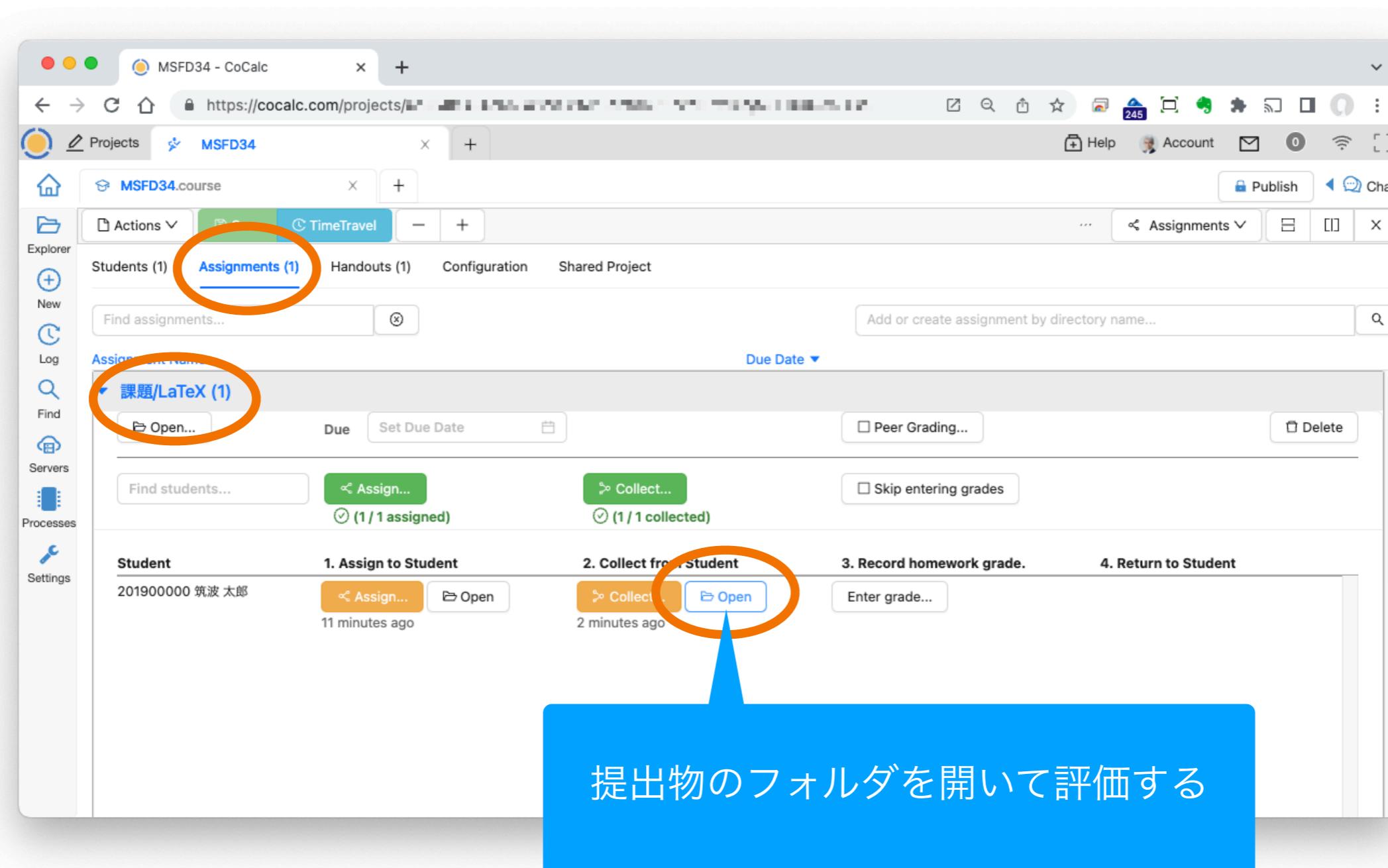
レポートの回収

コースファイルにてレポートを回収する



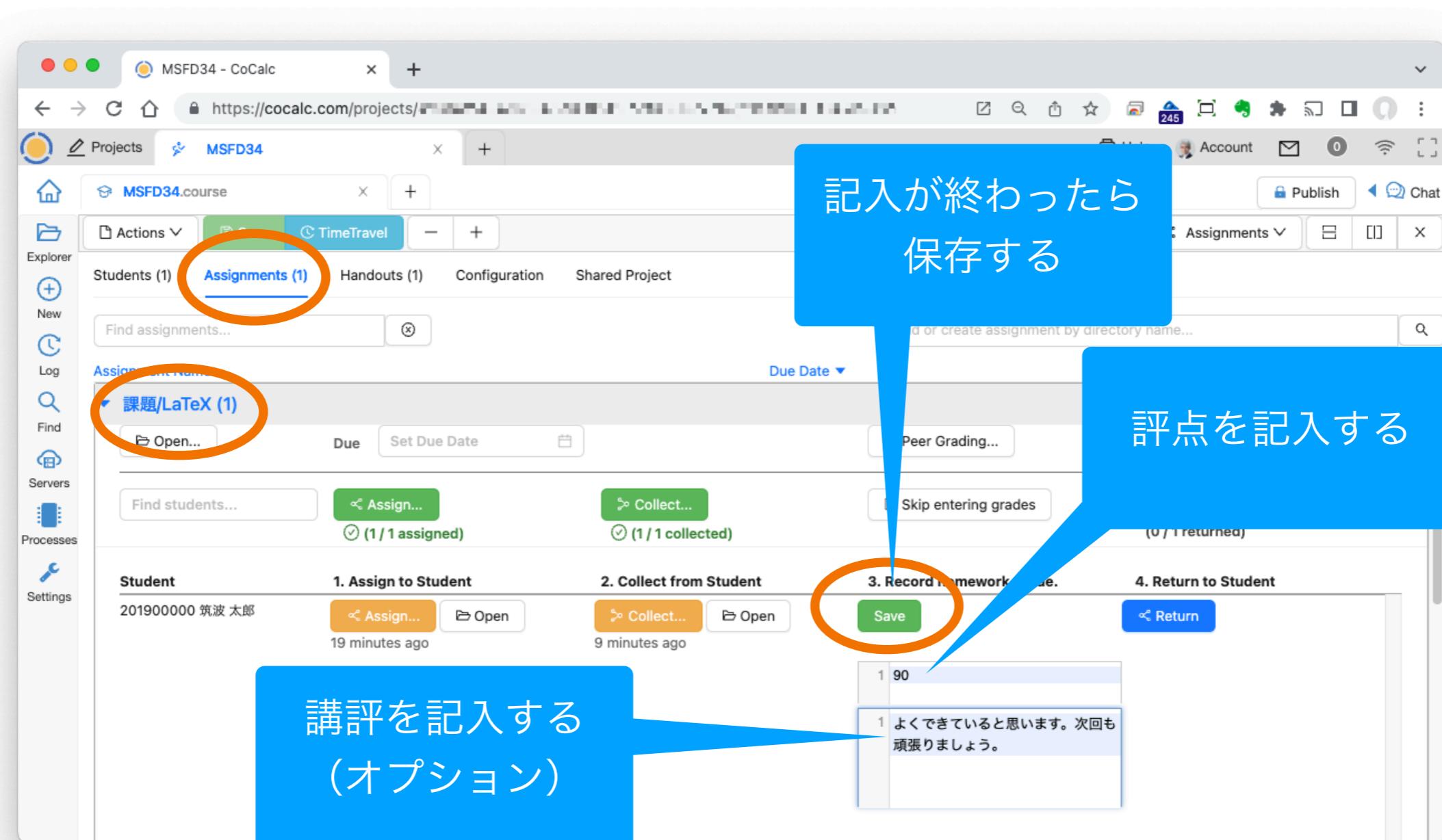
レポートの評価

コースファイルから提出物にアクセスして評価する



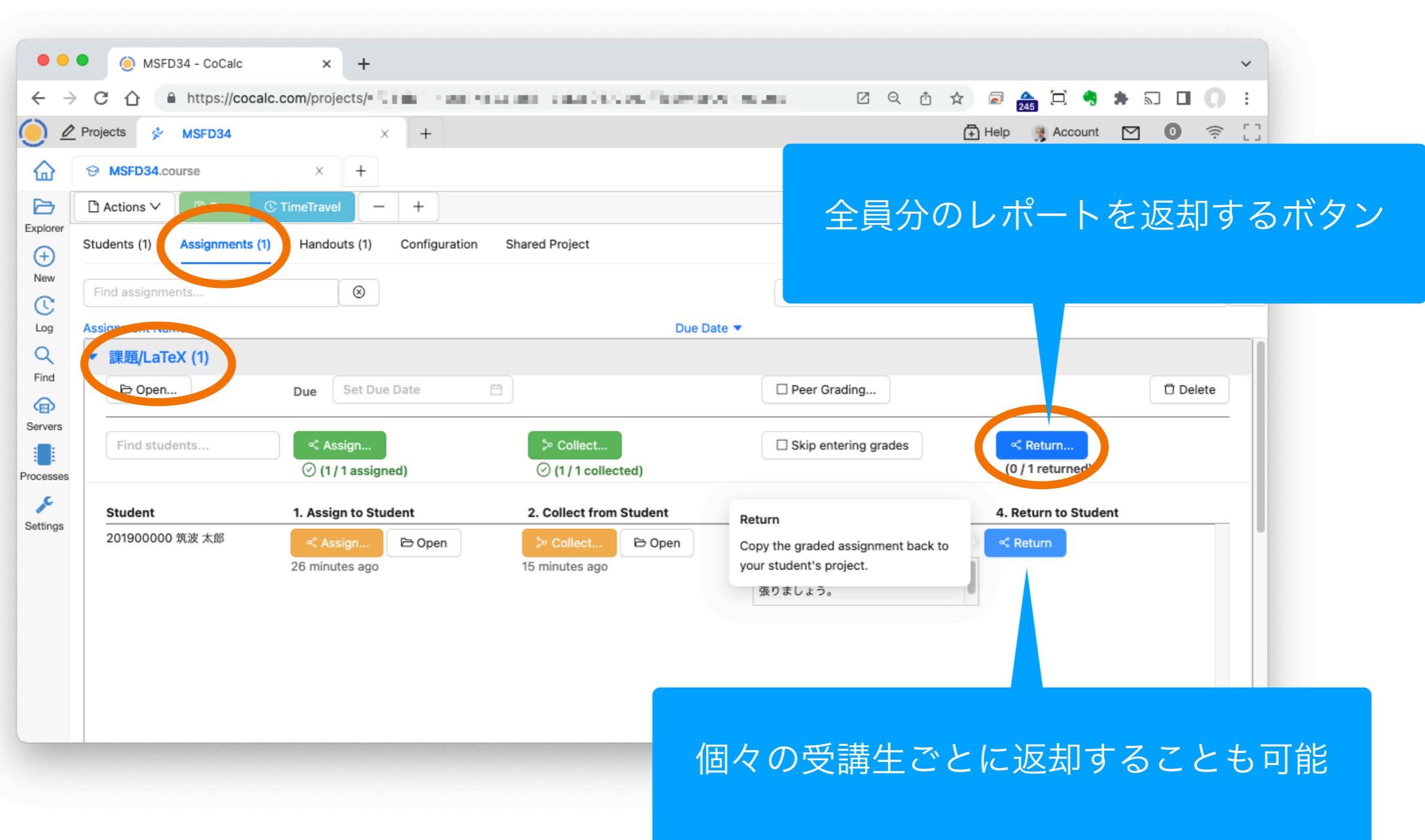
評価の記入

コースファイルにて評価を記入する



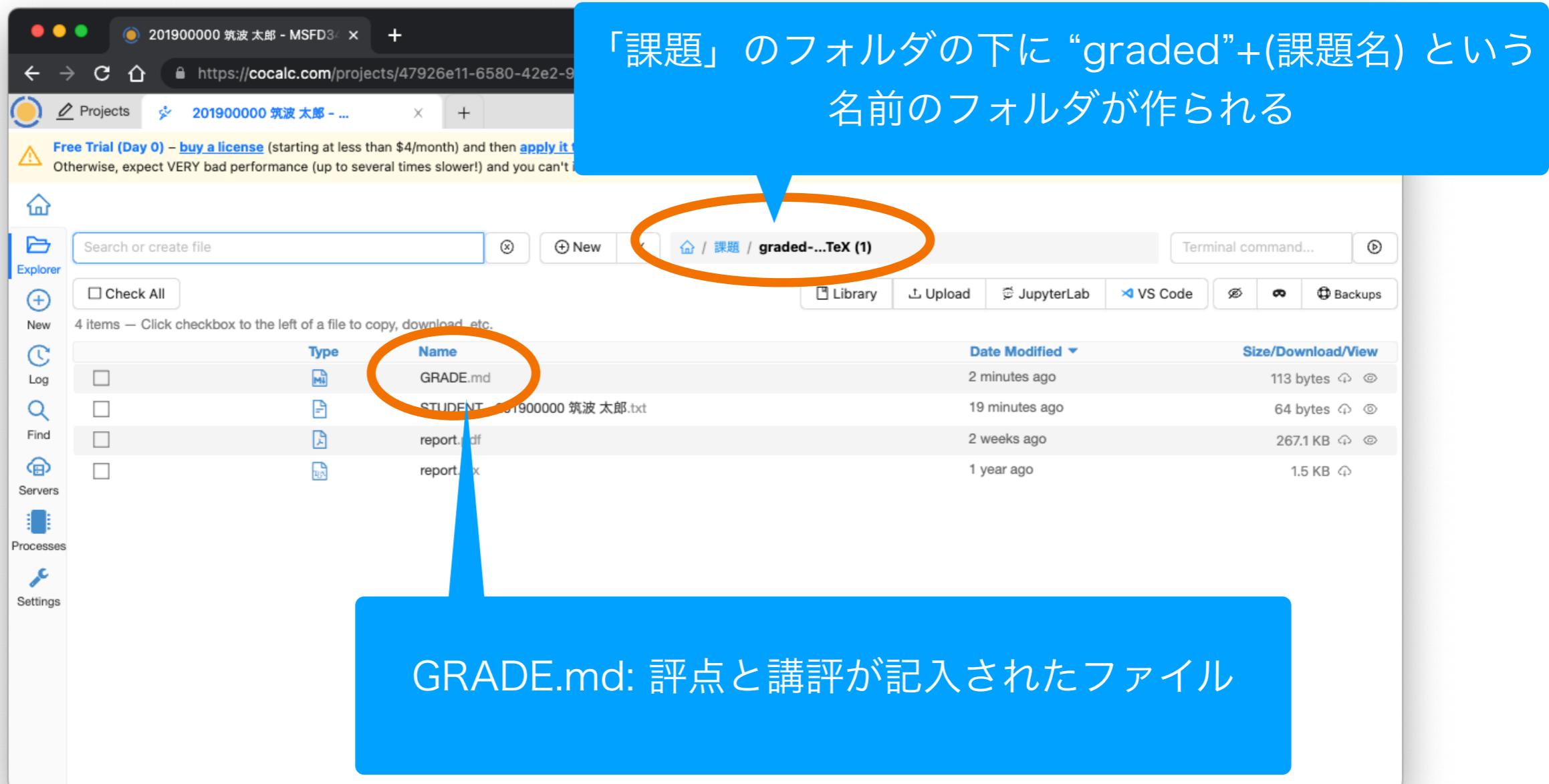
レポートの返却

(1) コースファイルにてレポートを返却する



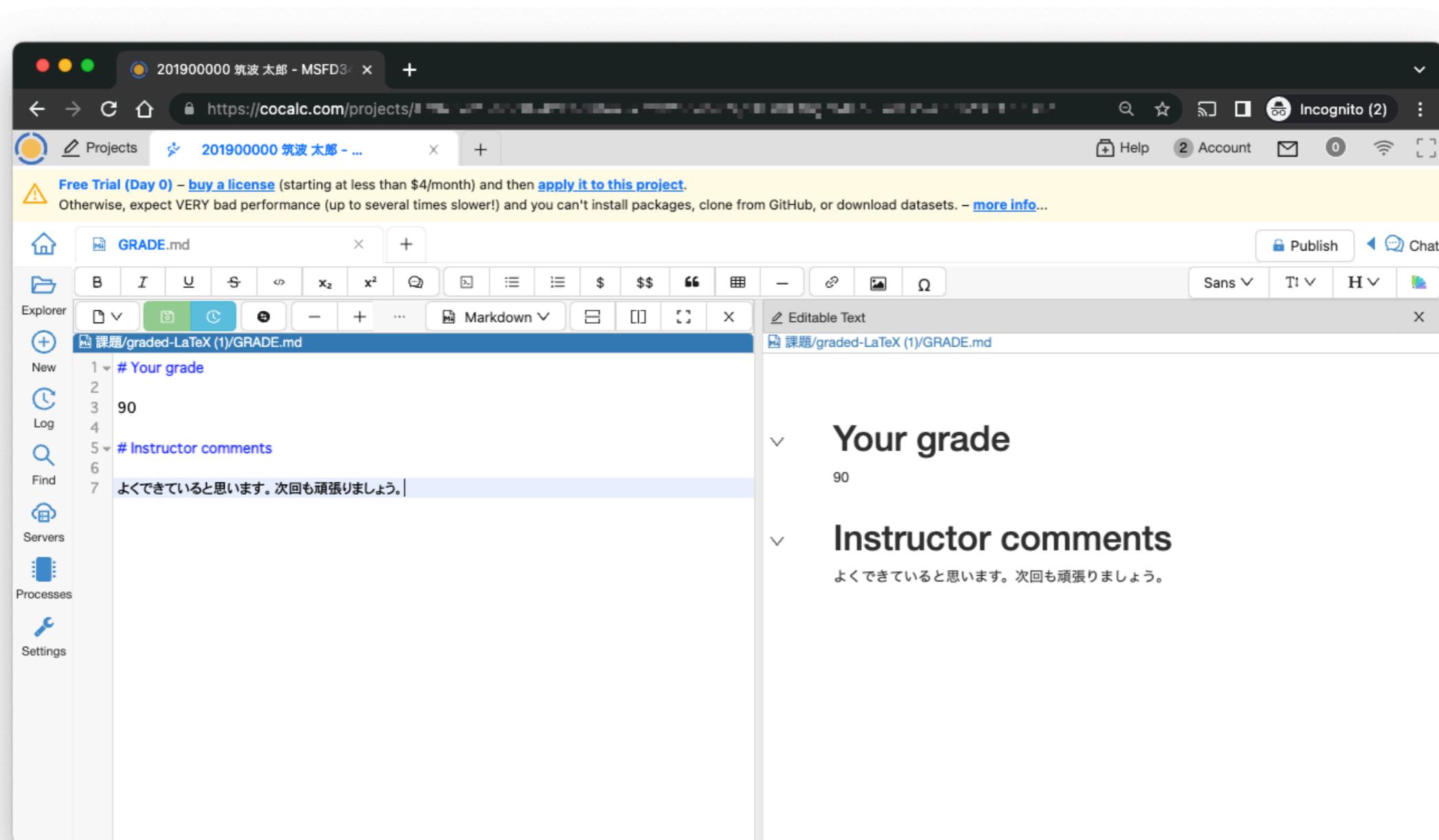
レポートの返却

(2) 受講者側のプロジェクトにレポートが返却された状態



レポートの返却

(3) GRADE.md のファイルの内容



The screenshot shows a web-based LaTeX editor interface. At the top, there's a browser header with the URL <https://cocalc.com/projects/>. Below it is a toolbar with various icons for file operations, a project selector, and account information. A yellow banner at the top right provides a free trial offer and a warning about performance if no license is applied.

The main workspace is divided into two panes. The left pane is an "Editable Text" editor showing the contents of a file named "GRADE.md". The right pane is a preview of the rendered LaTeX document.

In the "GRADE.md" editor, the content is:

```
1 # Your grade
2
3 90
4
5 # Instructor comments
6
7 よくできていると思います。次回も頑張りましょう。
```

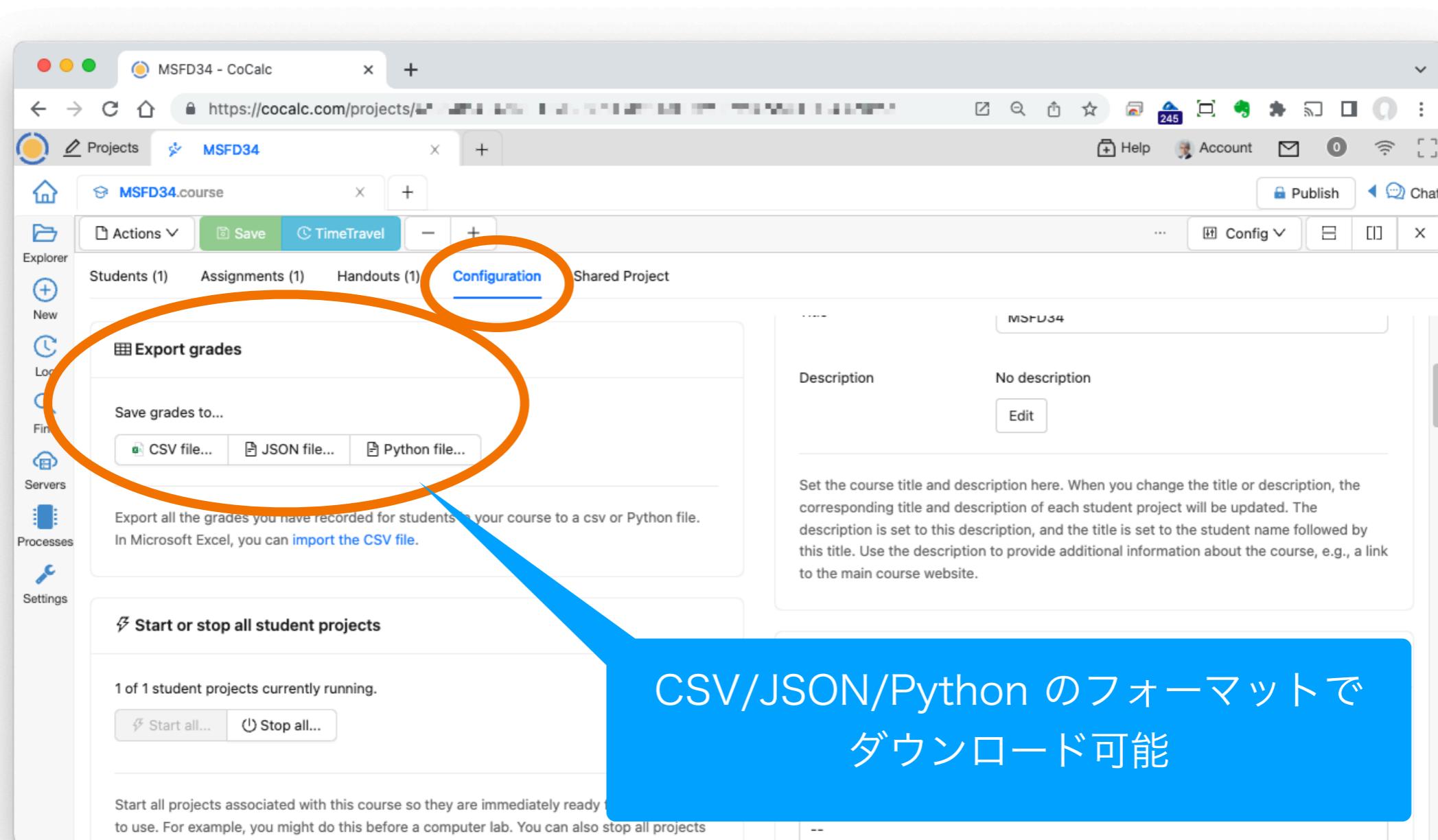
In the preview pane, the content is displayed as:

Your grade
90

Instructor comments
よくできていると思います。次回も頑張りましょう。

成績を集計

成績のデータファイルをダウンロード



学習管理システム (LMS) としてのCoCalc

- 長所
 - 教材や課題の配布、回収が一括で行えるのが楽
 - 受講者個別の対応も柔軟に可能
- 短所
 - 教材や課題の配布や回収は手動で起動する必要がある
 - 決まった日時に自動でできるとさらに楽だが…

遠隔授業でのCoCalcの利用例

- ・ 「計算機演習」 の授業の紹介
 - ・ 例年の面接（対面）授業の際の授業内容と形式
- ・ 遠隔（オンライン）授業に移行した際のノウハウ
 - ・ 授業内容の対応／変化
 - ・ 授業方法の対応／変化

計算機演習

授業の概要

- ・ 筑波大学 理工学群 数学類の開設授業科目
- ・ 標準履修年次：2年次
- ・ 開講時期（コロナ禍前）：春学期、週1时限、15週
- ・ 履修者：約60名
 - ・ 数学類（2年生ほぼ全員＋再履修者）約45名
 - ・ 物理学類、化学類、地球学類、情報科学類など（いずれも若干名）約15名

計算機演習

授業内容

- ・ 数式処理システムを使って問題を解く
- ・ LaTeX による数式文書の作成
- ・ プログラミング言語の初步

計算機演習

数式処理の内容 (Mathematica)

- Mathematicaへの入門 (数の四則演算、代数方程式の求解、グラフ描画、アニメーション) 全2回
- 線形代数の計算 (ベクトル、行列、行列式、固有値、固有ベクトル、行列の対角化)
- 微積分の計算 (極限値、導関数、Taylor展開、不定積分、定積分)
- プログラミング (再帰的定義、手続き型)
- 応用問題 (フラクタル図形の描画)

計算機演習

LaTeXの内容

- Git, GitHub, Visual Studio Code の使い方、Markdown文書の作り方
- LaTeXによる文書作成（タイトル、セクション、文字飾り（太字、斜体など）、箇条書き（itemize環境, enumerate環境）
- LaTeXによる数学文書の作成（数式入力（inline / display形式）、定理環境、式／定理番号の参照、参考文献とその参照）
- LaTeXによるスライド作成（Beamerパッケージ）

計算機演習

プログラミングの内容 (Scala)

1. 数値演算、Hello world プログラム
2. 関数定義、再帰呼び出し、Euclidの互除法（再帰的定義によるプログラム）
3. ループ (while文、for文) 、タプル、Euclidの互除法（ループを使ったプログラム） 、数値積分（台形公式） 、
(擬似)有理数演算（有理数をタプルで表現する）
4. リスト操作（再帰的定義によるリストの生成、map, length, reverse） 、
(擬似)多項式演算（1変数多項式をリストで表現する）

コロナ禍前の授業方法（面接）

大学のサテライト端末室を利用

- ・ オンデマンド方式：
 - ・ テキストをオンライン (LMS) で配布
 - ・ 受講者がテキストの内容に沿って自習（授業時間外を含む）
 - ・ 授業時間中に操作や解き方について質問
 - ・ ティーチングアシスタント(TA)を10名程度配置
- ・ 毎回レポートを提出して評価

遠隔授業への移行 (2020年度)

- ・ 2020年4月: 大学本部より遠隔授業へ移行指示
- ・ 計算機演習は秋学期に繰り下げる
- ・ 6月 : 秋学期も遠隔授業になる可能性を見越し、遠隔授業を行うための準備を始める
 - ・ 必要なライセンスの購入
 - ・ 遠隔授業環境への教材の移植
- ・ 2020年10月～2021年1月 : 秋学期の授業を遠隔授業で実施

遠隔授業の方針

- ・ 授業内容：可能な限り面接授業で教えていた内容を維持する
- ・ 授業方法：従来のオンデマンド方式を維持する
- ・ 授業環境：Webアプリケーションを中心とした授業環境に移行する
 - ・ オンラインサービスの導入
 - ・ 学生の端末へのインストール作業を最小限に抑える

遠隔授業の課題

- ・ 数式処理: Mathematica からどのような環境に移行するか？
- ・ LaTeX: デスクトップ環境からどのような環境に移行するか？
- ・ プログラミング言語: デスクトップ環境からどのような環境に移行するか？
- ・ アプリケーションの操作方法の説明をどのように行うか？
- ・ 受講者に対する操作方法の質問対応や補助をどのように行うか？
- ・ 成績の集計をどのように行うか？

遠隔授業の環境

- ・ 数式処理: CoCalc + SageMath
- ・ LaTeX: CoCalcのLaTeX環境
- ・ プログラミング言語 (Scala): GitHub Classroom + Repl.it（オンライン統合開発環境）
 - ・ 前年度から GitHub Classroom を使っていった
 - ・ Scala は CoCalc に含まれていなかった（現在も含まれていない）

遠隔授業の環境

- 教材配布、レポート回収方法
 - CoCalc (数式処理, LaTeX)
 - GitHub Classroom (Scala)
- アプリケーションの操作方法の説明: 手順書 + スクリーンショットの動画による説明
- 受講者に対する操作方法の質問対応や補助: Zoomによるリアルタイム双方向の質問セッションの開催（自由参加）

アプリケーションの移行

数式処理: Mathematica → CoCalc

- 両者の機能、体裁ともほぼ同じ
- 関数名や引数、プログラムの構文の書き換え程度でほぼ同一の授業内容を構成可能
- 迅速な移行が可能だった

アプリケーションの移行

数式処理: 教材は面接授業のものをほぼそのまま移植

面接用

(Mathematicaから生成)

遠隔用

(Jupyter Notebookから生成)

2019-01.rth 5

```
Solve[x^3 + 3x + 1 == 0, x]
{{x → -((2/(1 + Sqrt[5]))^(1/3) + ((1/2)(-1 + Sqrt[5]))^(1/3)}, 
 {x → -(1/2)(1 + I Sqrt[3])((1/2)(-1 + Sqrt[5]))^(1/3) + (1 - I Sqrt[3])/2^(2/3)(-1 + Sqrt[5])^(1/3)}, 
 {x → -(1/2)(1 - I Sqrt[3])((1/2)(-1 + Sqrt[5]))^(1/3) + (1 + I Sqrt[3])/2^(2/3)(-1 + Sqrt[5])^(1/3)}}

上の出力の中に現われている記号 i は、虚数単位です。
求める根の値が近似値でよい場合には、NSolve を用います。使い方は solve と同じです。
NSolve[x^3 + 3x + 1 == 0, x]
{{x → -0.322185}, {x → 0.161093 - 1.75438 i}, {x → 0.161093 + 1.75438 i}}
```

グラフを描こう

Mathematica では、Plot により、1変数関数のグラフの描画を行うこともできます。

```
f(x) = sin(x)
Plot[Sin[x], (x, -Pi, Pi)]
```

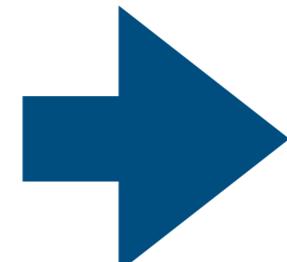
の範囲で描画してみましょう。関数名はいつも大文字で始まることに気をつけてください。大カッコと中カッコの使い分けにも注意しましょう。

次に、Plot3D により、2変数の関数

```
f(x, y) = sin(x + sin(y))
```

のグラフを

の範囲で描画してみましょう。グラフは曲面になります。



計算機演習 2020 - CoCalc

In [25]: plot(sin(x), x, -pi, pi)

Out[25]:

グラフを描こう

SageMath では、関数 plot により、1変数関数のグラフの描画ができます。

関数 $\sin(x)$ を $-\pi \leq x \leq \pi$ の範囲で描画してみましょう。定数 π は SageMath では pi で表します。

次に、関数 plot3d により、2変数の関数 $\sin(x + \sin(y))$ のグラフを $-\pi \leq x \leq \pi, -\pi \leq y \leq \pi$ の範囲で描画してみましょう。

アプリケーションの移行

LaTeX, Scala

- ・ 教材はもともと Markdown で作っていたのでほぼそのままの形で利用
- ・ LaTeX は pLaTeX から日本語 LuaLaTeX に変更（移植）
- ・ Scala は GitHub Classroom と Repl.it を接続

アプリケーションの移行

LaTeX, Scala: 教材は面接授業のものをほぼそのまま利用

The screenshot shows the CoCalc interface with a LaTeX document titled "2023-02-28-file-4.md". The left sidebar contains navigation links for Projects, MSFD34, Log, Find, Servers, Processes, and Settings. The main area displays the LaTeX code structure:

```
1 # $LaTeX$ について
2
3 この文書は、LaTeX編のテキストの各章、節を参照しますので、テキストとともに参照してください。
4
5 テキストの参照先は、👉の記号に続けて、章、節の番号と見出しを記載しています。
6
7 ## LaTeX とは
8
9 LaTeX とは、数式を含むデジタル文書を作成するためのソフトウェアです。\
10👉 第 1.1 節「TeX, LaTeXって何?」, 第 1.3 節「LaTeXって何?」
11
12 特に、数式を含む文書を出版物の品質で出力することができます。現在、純粋／応用数学をはじめとする
   の分野の論文や教科書は、LaTeXで執筆、出版されるのが標準的となっています。
13
14 テキストファイルに、見出しや箇条書きといった体裁、数式の命令を記述し、プログラムで一度に処理して
   PDFファイルを生成します。\
15👉 第 1.4 節「TeX, LaTeXの処理方式」, 第 1.5 節「TeX, LaTeXの処理の流れ」
16
17
18 ## LaTeX 文書の作り方
19
20 LaTeX による文書を作るのに必要な、以下の事項について紹介します。
21
22 1. LaTeX 文書を作るための道具
23 1. LaTeX 文書のファイルのルール
24 1. LaTeX 文書からPDFファイルの生成(コンパイル)
```

The right side of the interface shows expanded sections of the document:

- LATEX について**: This section contains the first few lines of the document.
- LaTeX とは**: This section contains the definition of LaTeX and its history.
- LaTeX 文書の作り方**: This section contains information about creating LaTeX documents.

アプリケーションの移行

Repl.it の開発環境

The screenshot shows the Repl.it web-based development environment. The top bar indicates the session is titled "Repl.it - compexer-2020-scala" and the URL is "repl.it/@atelieraterui/compexer-2020-scala-4-atelieraterui#report-4.scala". The interface includes a file tree on the left, a code editor in the center, and a console on the right.

File Tree:

- data-2.csv
- data-3.csv
- data-4.csv
- data-5.csv
- git-zengak...
- github-rep...
- linux-term...
- makerepo...
- makerepo...
- README....
- report-1.s...
- report-2.s...
- report-3.s...
- report-4.s... (selected)
- report-5.s...
- report-co...
- report-gra...
- report-hea...

Code Editor (report-4.scala):

```
object Report4 {
  def main(args: Array[String]): Unit = {
    val bufferedSource = io.Source.fromFile("./data-4.csv")
    for (line <- bufferedSource.getLines()) {
      val cols = line.split(",").map(_.trim)
      val n = cols(0).toInt
      println("入力値: " + n)
      // ここから下で出力値を計算する
      println("出力値: " + chainlengthlist(n))
    }
    bufferedSource.close
  }

  def chainlengthlist(n: Int): List[Int] = {
    // この部分に関数定義を書く
    (1 to n).toList
  }

  def chainlength(n: Int): Int = {
    // この部分に関数定義を書く
    n
  }

  def chain(n: Int): List[Int] = {
```

Console:

```
GNU bash, version 4.4.20(1)-release (x86_64-pc-linux-)
> scala
Welcome to Scala 2.13.1 (OpenJDK 64-Bit Server VM, Java 11.0.10).
Type in expressions for evaluation. Or try :help.

scala>
```

アプリケーションの操作方法の説明

手順書 + スクリーンショットの動画による説明

手順書

(manabaに掲載)

説明用動画

(YouTubeに掲載)

This screenshot shows a course page from manaba.tsukuba.ac.jp. The main title is 'SageMath 編：授業テキストの書き方と読み方'. Below it, there's a section titled '前提条件' (Prerequisites) which includes a link to '計算リース CoCalc へのリンクアップが正常に済んでいること'. The right sidebar contains a list of links related to the document, such as 'SageMath 編：授業テキストの書き方と読み方' and 'SageMath 編：レポート提出の手順'.

This screenshot shows a YouTube video player with the title '計算機演習 SageMath 編 第1回: SageMath を使ってみよう'. The video content discusses the use of SageMath, specifically mentioning the importance of using single spaces instead of double spaces for calculations. It also covers copy-and-paste operations and HTML input methods. The video has a duration of 3:17 and 122 views.

受講者に対する質問対応や補助 (Zoom)

ブレイクアウトルームによる個別の質問対応

The screenshot shows a dual-pane interface. On the left is a web browser window displaying the course management system for FB12632 at manaba.tsukuba.ac.jp. The browser tabs include 'manaba - course', '計算機演習 2020 - CoCalc', and '第7回 筑波大学 RCMS サロン'. The main content area shows course news and a forum. A yellow sticky note on the right side of the screen contains Japanese text about the CommentScreen feature. On the right is a video feed from a Zoom meeting, showing a participant wearing headphones and glasses. The timestamp in the bottom right corner of the video feed is 2020-12-02 16:45:58.

筑波大学
University of Tsukuba

※自己登録許可期間中 2020-12-02 (Wed)
照井 章 | 設定 | ログアウト

FB12632
計算機演習

小テスト アンケート レポート プロジェクト 成績
掲示板 コースコンテンツ

現在、自己登録許可期間中です。
履修登録前に学生に利用させたい場合は、コース設定から自己登録の許可設定を行い、学生に自己登録を行うよう連絡してください。

#respon 個別指導(コレクション) 提出記録 コースメンバーリスト

コースニュース
◆ SageMath (6) レポート返却のお知らせ 2020-11-30
◆ manabaのレポート提出欄における提出手… 2020-11-24
◆ SageMath (6) レポート回収完了のお知らせ 2020-11-23
◆ SageMath (5) レポート返却のお知らせ 2020-11-23
◆ LaTeX (1) テキストとレポート課題の開示… 2020-11-21

コースニュース追加
スレッド (更新順)
スレッドはありません。> スレッド一覧

コンテンツ (更新順)
#FB12632

CommentScreen で
画面にコメントを
投稿できます
(荒らしはなしで)
Twitter からは
#FB12632 で

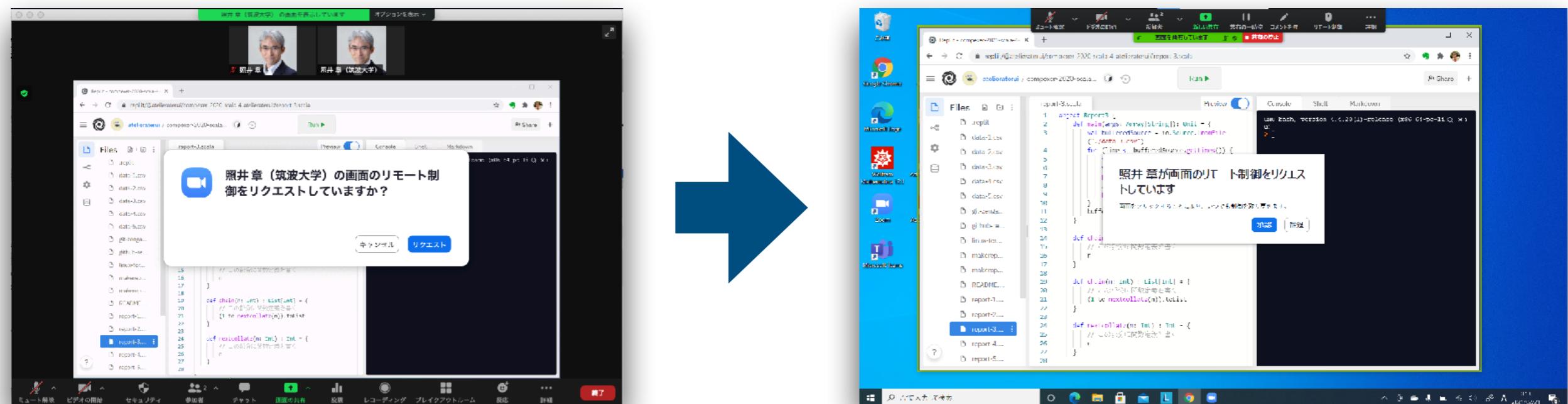
2020-12-02 16:45:58

受講者に対する質問対応や補助 (Zoom)

受講者のパソコンのリモート制御による操作補助

教員・TA

受講者



(図は再現画面)

遠隔授業の継続 (2021年度秋学期)

- SageMath, LaTeX: 2020年度と同一の内容
- プログラミング言語: Scala から Julia に切り替え
 - 環境も Repl.it から CoCalc に切り替え
 - すべてのアプリケーション環境を CoCalc に統一
- 授業順番を LaTeX → SageMath → Julia に変更
 - Jupyter Notebook で LaTeX のマークアップを活用可能

面接授業の復活 (2022年度秋学期)

- LaTeX + Mathematica + Julia
- 大学のサテライト端末で実施
- Zoomによるハイブリッド授業
 - オンライン受講者への対応
 - 聴覚障がい者への対応
 - UDTalkによる同時文字起こし字幕の提供
 - 録画に対し、OpenAI の文字起こしアプリ Whisper で文字起こし

まとめ

統合webアプリケーションCoCalcとそのオンライン授業での利用

- CoCalc とは？
 - 計算環境としてのCoCalc
 - 授業管理システム (LMS) としてのCoCalc
- CoCalcのオンライン授業での利用事例の紹介
 - 筑波大学理工学群数学類 「計算機演習」
 - CoCalc + Zoom + Repl.it

2020年度の取り組みを論文にしました

対面出席の方は冊子体の別刷もどうぞ！(照井, 2022)

数式処理 *Bulletin of JSSAC*(2022)
Vol. 28, No. 2, pp. 53 - 79

特集論文

コロナ禍の計算機演習： 数学科における数式処理を用いた計算機実習の 遠隔授業による取り組み

照井 章[✉]

筑波大学 数理物質系

(Received June 19, 2021 Revised December 9, 2021 Accepted January 24, 2022)

概要

Due to the worldwide spread of a new coronavirus disease (COVID-19), many university courses have shifted to distance learning, including courses with computer exercises. In this paper, we present a case study of our efforts to maintain the same level of teaching effectiveness when we conducted the transition from an in-person course with computer exercises to an online course in the college of mathematics.

1 はじめに

2019 年に発生が報告 [18] され、2020 年初めから世界に広がった新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、教育面でも世界的に大きな影響を及ぼした。日本国内の多くの大学では、2020 年度の新学期から、開講される授業の多くが遠隔授業 [□] に移行し、その一部は本稿執筆時の 2021 年前半も継続している。遠隔授業への移行により、それまで面接授業の中で行われていたさまざまな授業方法やコミュニケーションの手段、形態が再構築されている。

面接授業から遠隔授業への移行が授業方法に大きく影響する授業の一つに、計算機を用いた実習が挙げられるだろう。大学における計算機を用いた実習の形態は、従来より行われてきた端末室での一斉授業 ([11], [43]) の形式に加え、近年では、反転授業の導入により、履修者はあらかじめ教材を読み込んだ上で、手録の問題を提出したり、授業内容を理解して、解答用紙に回答を記述する形

参考文献

- R. F. Fisher. (1936), THE USE OF MULTIPLE MEASUREMENTS IN TAXONOMIC PROBLEMS. Annals of Eugenics, 7: 179-188. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x>
- J. Suzuki. (1987), On Coefficients of Cyclotomic Polynomials. Proc. Japan Acad., 63, Ser. A: 279–280. <https://doi.org/10.3792/pjaa.63.279>
- P. Zimmerman, et al. (2018), Computational Mathematics with SageMath. SIAM. <https://doi.org/10.1137/1.9781611975468>
- 照井章. (2022), コロナ禍の計算機演習: 数学科における数式処理を用いた計算機実習の遠隔授業による取り組み. 数式処理. 28, 2: 53–79. http://www.jssac.org/Editor/Suushiki/V28/No2/V28N2_106.pdf (閲覧 2023-03-04)
- 横山俊一. (2014), SageMath CloudとこれからのSageの開発について. Sage Days 63, 2014年10月12日, 信州大学. <http://math.shinshu-u.ac.jp/~nu/html/sage/days/201410/doc/kimura/20141012SD63.pdf> (閲覧 2023-03-04)

Happy CoCalcing!



講演者のオフィスから早春の筑波山を望む (2023年3月14日)