

Moodle と Stack を用いたオンライン授業と試験

岩瀬, 則夫
九州大学大学院数理学研究院

<https://doi.org/10.15017/4772822>

出版情報：基幹教育紀要. 8, pp.61-67, 2022-02-25. 九州大学基幹教育院

バージョン：

権利関係：本紀要に掲載したコンテンツの著作権は、断りが無い限り九州大学基幹教育院が有します。コンテンツの利用については、著作権法に規定されている私的使用や引用などの範囲内で行ってください。著作権法に規定されている私的使用や引用などの範囲を超える利用を行う場合には、著作権者の許諾を得てください。ただし、著作権者から著作権等管理事業者に権利委託されているコンテンツの利用手続については、各著作権等管理事業者を確認してください。



Moodle と Stack を用いたオンライン授業と試験

岩瀬 則夫^{1*}

¹九州大学数理学研究院, 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

Online Course Lectures and Exams with Moodle and Stack

Norio IWASE^{1*}

¹Faculty of Mathematics, Kyushu University, 744, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

*E-mail: iwase@math.kyushu-u.ac.jp

Received Aug. 20, 2021; Revised Nov. 9, 2021; Accepted Nov. 10, 2021

In 2016, the author came to have an idea to provide a virtual classroom equally to all students, including those who may have physical or mental disabilities, by using Stack on Moodle. By 2020, after his petitions to the M2B office, it became possible for him to use Stack on Moodle with LaTeX, Maxima, Gnuplot and Safe Exam Browser (SEB). However, he could find very few sources of Stack usage out from web or written books by now. This is reporting on the practice of online course and exams using Stack on Moodle with Safe Exam Browser in the 2020 and 2021 semesters.

1. はじめに

2016年度からLMSがそれまでのBlackboard LearnからMoodleに変わり、ヨーロッパの友人達の使うStackが本学でも使えるようになるかと期待しましたが小テストのメニューには見当たらず、2017年初頭にM2B事務局にお願いして導入して頂いたものの2018年になってもMoodleのマニュアルには利用できないとの記載がありました。そこで2019年度始めの情報関係の委員会の席上でM2B事務局の方にStackを利用可能にして頂けるよう直接お願いし、その甲斐あってか、2020年までにはMoodleのマニュアル上でもStackが利用可能となりました。

これは、今から考えると非常に幸運でした。続く2020年は発見されたCOVID-19の拡大局面に於ける不穏な空気で始まり、2019年度末までには、新年度はオンラインでの講義や試験が避けられないとの見通しが支配的となりました。そこで個人的に以前から進めていた講義ノートのLaTeX-Beamerによるスライド化を年度初めに集中的に行い、果たして2020年5月から始まったオンライン授業でMoodle + Stackの検証を行い、明らかになったバグを事務局の方に修正して頂きました。

次の2021年度は講義の受講生が前年度までの定員(50~60名)よりかなり多く(130名超と90名超)なった為に、小テストや定期試験で本質的に重要でない事象(問題配布や答案回収あるいは答案返却)に多くの授業リソースを費やさねばならないことが見込まれました。これを可能な限り圧縮する目的で、新年度の対面/オンラインで行う講義に於いても小テストと定期試験でMoodle

+ Stack 問題採点システムに加えて Safe Exam Browser (SEB) を採用する方向に徐々に傾きました。

Stack 問題では乱数を用いて受験者それぞれの問題文の定数を変更することができ、同時に Moodle 上で各問題に時間制限を設定することができます。両者を組み合わせることで、学生が相互に連絡を取って解答を教えあうことは難しくなります。実際、前者により個々の解が異なる為と考え方を含めて教えあうことが必要となり、後者によりそれが時間的に不可能となるでしょう。さらに SEB を利用するのは、学生らの間の公平性を担保する為に理に適うと感じました。しかし現実には Stack や SEB の利用に参考となる情報は少なく、期待通りに動かすには多くの困難が伴いました。そこで試行錯誤の末に辿り着いたノウハウを私なりに集成し、ここにご報告致します。

2. オンライン授業とテストの準備

2.1. スライドの作成

スライドの場合は、説明の終わった部分でもすぐ見返せるよう事前にファイルを学生に提示することも重要です。その一方で学生の視線がスライドのどの場所に向かっているか判然としません。そこでむしろ学生の視線を制御することを考えました。具体的には次の3点です：

1. 説明に不要な部分を隠す。一度に全部見せてしまうと、学生がどこから読んだら良いのか、あるいは今どの部分の解説なのか見失う場面も想定される。具体的には LaTeX のスライド作成用スタイルである LaTeX-Beamer の標準コマンドである $\verb|¥pause|$ や $\verb|¥only|$, $\verb|¥uncover|$ を用いる。
2. 注目すべき部分を浮き立たせる。方法としては、LaTeX-Beamer で当該部分のフォントを大きくしたり変えたりすることや色を変えることが考えられる。当初は前者を採用したが、レイアウトがその都度大きく変化するのは見易いとは言えない為、徐々に後者に移行した。
3. スライド上でポインターを使うことも考えたが、画面がちらちらして目障りであると感じることも多い為むしろこれは補助的に使い、主に LaTeX-Beamer の機能を用いることとした。

実は COVID-19 以前の 2019 年度からスライドを使っていたが、その中で数学の授業では双方向型かつ板書による説明が必須であるとの認識を持つに至っていました。そこで 2020 年度始めに iPad を導入し、iPad 上の手書きアプリの画面（スライドと板書）を QuickTime で Mac に写し、これをチャットなどで双方向通信可能な Mac 上の電子会議アプリで共有することとしました。

2.2. 電子会議アプリ

数年前から遠隔セミナー（一年間）や遠隔打ち合わせなどで利用した実績のある Skype の使用を当初は暗黙の内に想定していましたが、個人の計算機にセットアップした ZOOM Meetings が使えそうだと感じました。ところがその直後に顕在化したセキュリティー上の問題を考え合わせ、一時期は Microsoft Teams の使用も検討しましたが、安定性とセキュリティーと使い勝手を重視し、九大として契約したという WebEx Meetings の採用を決めました。これには、クラウド（kyushu-u.webex.com）上に講義ビデオが保存できることも理由の一つでした。調べてみると、WebEx が ZOOM と良く似た印象を与えるのは元々同じアプリであったという事実が背景にありそうです。

ただ、現在では当たり前前に利用できるブレイクアウトも仮想背景もボディランゲージも高度なレイアウト表示も背景音カットも 2020 年の 7 月頃から半年ないし一年かけて徐々に実装されたものです。一方で、WebEx は End to End の暗号化通信（1 対 1 の通信という意味ではありません）も可能でした。こちらは非公開の共同研究や個人情報をや取りする必要がある場合に使用します。

3. Moodle + Stack 小テストの利用

3.1. 小テストの準備

当初は Moodle で簡単な数式入力問題と多岐選択問題を作成しましたが、教育効果のありそうな問題の作成は難しいように思われました。そこで Stack 問題の作成に移行せざるを得ないと判断したのですが、まず学生諸君に計算機代数 (CAS) に慣れてもらわねばなりません。CAS というのは数式の入力用書式で、よくある関数電卓の書式に近いものですが、ビジュアル的にそれらしい漢字の記号は使用できません。すなわち CAS は以下の様な数式入力上の外形的特徴を持ちます：

1. CAS は LaTeX よりも日常の数学の板書あるいは関数電卓の書き方に近い。
2. 学生に使ってもらうには普段からの小テストなどでの利用が無いと恐らく厳しい。

そこで、まず授業内で CAS (ある意味数式ゲームのルールとも思えます) について、概要を説明した後、その使用に慣れてもらう目的で簡単な数式入力問題を作成して一週間これを公開しました。このとき学生がつまづいた場所は、以下のようなポイントに集中していました：

1. 全角文字 (例：「∞」や全角数字) は解答エラー (エラー表示される) となる。
2. 原則的に必須な掛け算記号「*」は、「計算機にとって」紛れの無い場合にこれを省略したり、空白に替えたりできる。順序を明確化する為に使われる括弧「(,)」も同様である。
3. 実は掛け算記号を省略できるようにするには解答方法の設定項目で設定が必要である。これにはいくつか種類があるので、各々の解に対して適切なものを選んで設定する必要がある。
4. 厄介なことに省略記法に慣れた学生が $r \cdot \sin(u)$ を $r * \sin(u)$ とか $r \sin(u)$ ではなく $r \sin(u)$ などと表記すると、 $r \sin$ なる未定義の関数と認識される為、これは当然ながら「誤答」となる。

そこで、当初の問題では掛け算記号などの入力を必須として、とにかく CAS に慣れてもらうように努めました。数式の手書き認識システムの早期の Stack 問題への実装が望まれます。

3.2. 本文と解答の記述

Stack 問題上では、HTML, LaTeX, Maxima, Gnuplot が簡単に利用できます。逆に言うとこれら (Gnuplot を除く) 全てを知らないと意味のある問題を作成することは難しいかもしれません。

さて、各々の設問に対してこれが実行された解答を格納する解答変数 `ans` を定め、解答変数 `ans` に対応する解答欄 `[[input:ans]]` と解答の正当性評価欄 `[[validation:ans]]` を対で指定します。以下 Stack 小テストでの本文と解答欄の記述に際しての注意事項を列挙します：

1. 大域的な記述には LaTeX の `$$...$$` (バグあり) より、HTML の `center` の方が便利である。

- むしろ LaTeX は文中で局所的に $\$...\$$ で記述する語句として用いる方が効果的である。
- その一方で Gnuplot により図を用いた説明が簡単に作成できる。
- 実は数式表示全般が LaTeX を用いるものであり、CAS の表示も LaTeX で行われる。CAS 表示も含めたマクロを問題文の冒頭に記載しておくことで問題文全体で有効となる。例えば CAS により生成される逆正接関数の主値を表す関数を `atan` でなく `Arctan` で表すことが可能になる。
- 行列を答えさせる場合は何故か普通には解答欄が改行されてしまい、文章中に埋め込むことができない (バグか?) のだが、HTML の `table` 環境を用いるとこれが疑似的には可能になる。
- 設定された解答変数 `ans` 各々に対して解答方法を設定する項目 (以下、解答の設定項目とする) がシステムにより一つずつ生成され、模範解答の設定は必須である。
- 解答の設定項目の中の模範解答は Maxima のコマンドを用いた CAS で記述し、解答形式としては通常「数式」または「行列」を用いる。それ以外にも多様な選択肢があるが、本当に使えるかは分からない。例えば多岐選択はエラー (バグか?) になって使用できない。
- 同様に英字の並びは通常は全体で一個の変数とみなされるが、解答の設定項目で一文字変数の積とみなすようにも設定できる。ただし、これにはいくつかの種類があるので、個々の解答に対して適切なものを選んで個別に設定する必要がある。
- 解答の設定項目にはその他にも様々な設定項目が存在するが、私の場合は厳密な記法は NO にして、その他の項目は恐らくすべて YES にして問題なく使用できている。

3.3. 自動採点

自動採点のルールは複数与えることができます。その各々が Potential Response Tree (PRT) として与えられ、各々のルートノードから順番に評価されてその PRT が終了します。作成する PRT を表す識別子 `prt` を定め、`[[feedback:prt]]` により `prt` の表す自動採点のルールの利用を宣言すると、識別子 `prt` の PRT がルートノードのみで作成されます。`prt` の各ノードに計算式と計算結果と行うべき評価 (普通は「代数的な一致」) および評価の結果が真の場合と偽の場合の得点を各々与えます。さらに次の処理として「終了」あるいは必要なら新しいノードを作成してそこへのリンクを選択します。リンクの無いノードをリーフと呼びます。以下、PRT の特徴を列挙します：

- 各 PRT はただ一つの特別なノード (ルートノード) を含まねばならず、ルートノードからリンクを辿って同じ PRT 内の任意のノードに行き着く路 (パス) が存在しなければならない。
- リンクを辿って元のノードに戻ってしまうような路 (ループ) の存在は許されない。
- 各リーフに $[0,1]$ 閉区間内の有限小数を設定する。自分は通常、0 又は 1 とする。
- 各 PRT にその全体得点を設定する。自分は通常、1 以上の自然数値を与える。
- ノードの「評価」として通常は「代数的な一致 (CAS での一致)」を選ぶが、「以上」とかも選べる。ただし、すべての「評価」が動作するかは分からない。
- 各 PRT で模範解答以外の別解にも得点を与えることができる。その際に Stack のレスポンスが模範解答以外を不正解と宣告するのをやめさせたいが、現状ではその方法が見あたらない。

3.4. 数式処理の限界

Stack に実装されている Maxima は subset 版で全てのコマンドが動く訳ではなく、また Maxima 自身に起因する制約も存在します。以下に留意すべき点を幾つか挙げます。

1. 高度な関数定義は実装されておらない為、代わりに `subst` や `sublis` などを活用する。
2. 行列の階段化はできても簡約化はできない。
3. 式中の変数の並び順は Maxima の並べ方となり、必ずしも人間の書き方と一致しない。並び順を指定する事もできるが不完全であり、特に $-3x+2y$ を $2y-3x$ とするのは、解答者にとっては、変数の順番に注意深くなければ正答に辿り着けない (!) ということを意味する。
4. また、複素数の扱いはかなり微妙で「相等」の判断にも難があり、さらに虚数単位に特別な記号 `%i` を使用しなければならないことも注意すべきである。

4. 問題作成時の注意点

以下、具体的な問題の作成に際しての注意点を幾つか挙げます。

4.1. 線形代数

1. 行列に対するすべての種類の基本変形と和、差、スカラー倍、積（通常の積と成分毎の積の2種類がある）、正方行列のべき乗、正則行列の逆行列に加え、行列式、トレース、階段行列への変形や固有多項式の生成などの関数が標準で用意されている。
2. 列や行の取り出し、列や行からの行列の構成、ブロックの構成と解消などにも対応している。
3. Maxima 自体がリスト処理言語 Lisp で作成されている為か、リストの使用が前提となっていて、形の良く似たリストと行ベクトルは型が異なる為、型の違いに対する区別が必要である。

4.2. 微分積分

1. 宣言しない限り基本的に変数はすべて実数として扱われる。
2. 新しい（初等）関数の定義や関数の合成、数値の代入などが可能である。
3. 初等関数に対する極限、微分、定積分を求めることが可能である。
4. 多変数関数の偏微分や累次積分を求めることも可能である。
5. 円周率は `%pi`、Napier 数は `%e` で表記するのが標準だが、設定次第で `pi`、`e` でも受け付ける。

また使用される数式フォントは STIX2 で、通常の `cm` フォントとは異なって `¥mathbb` が袋文字となるなどの違いがあります。個人的にはむしろ判別しやすくなっていると感じています。

5. Safe Exam Browser (SEB)

SEB は Windows, macOS, iOS で動作するブラウザプログラムで Chrome の様に Moodle + Stack を閲覧・受験できますが、Chrome などとの大きなそして決定的な違いが一つあります。SEB はその動作する計算機全体を占有し、その計算機をあたかも試験に特化したデスクトップ端末であるか

のように機能を制限してしまいうことが出来る特殊なブラウザであることです。これにより、他に通信手段が無い場合には、オンライン試験を非常に安全に行うことが可能になります。

すなわち、不公正が簡単にはできない環境を学生諸君に「公平」に提供することで、大多数の真面目な学生諸君に安心して試験を受けて貰えるようにすることを目指したのです。さて、SEB の設定は Moodle 上で小テストの設定項目の中の「Safe Exam Browser」を Yes で手動設定とすればデフォルトの設定で簡単に使用できます。もちろんもっと細かな設定もできますが、私にはこれで十分でした。ただ、どんな設定でも自分が受験できるかを確認めることは重要でしょう。

SEB 関連のトラブルで最も多いのがキー配列の問題でした。macOS では全く問題にならないのですが、Windows では言語パックの形でヨーロッパ系の言語を一つでも導入すると、ヨーロッパ系の言語の間でしかキー配列の選択ができない状態になる為、小テストでキー配列がキーボード表記と異なる為にパニックになる学生が何名か現われました。対応して頂いた情報相談室によれば一番簡単な解決策は言語パックを一時的に外すことです。また常駐アプリによって問題が生じた学生もいたのかもしれませんが。あるいは Mac を貸し出すことができれば問題は解消しそうです。

もちろん、相応の理由があれば SEB に拘らずに「受験機会の確保」を優先すべきであり、現実的に SEB 関連のトラブル（再インストールなどで事後数日以内には解決したと報告を受けました）や体調不良により直前になって受験できないと言ってきた学生も何名かありました。今回は数名のみ日程をずらすなどの対策を取り、結果的に全員に SEB で受験してもらえました。

6. 小テストの具体例

線形代数では乱数を用いた計算問題を作成しました：以下の例は、外形的には Cramér の公式を用いた線形方程式を解く問題です。

まず問題文の全体像を作成し、さらに HTML を用いて整形しますが、その過程で解答欄を含めた数式部分は LaTeX を用いて清書します。

次に解答欄の部分を `[[input:ansx]]` などで置き換え、直後に対応する正当性評価欄 `[[validation:ansx]]` を置きます。特に解答欄が行列や分数の分母・分子である場合には、表示に HTML の `table` 環境を用いることにしています。

次にこれに合わせる形で、しかも問題が自明にならないように注意しながら Maxima の中で乱数を使って最終的な解となる行列を生成します。

```

1  \(\def\ln{\operatorname{log}}\)\(\def\Arcsin{\operatorname{Arcsin}}\)\
2  \(\def\Arccos{\operatorname{Arccos}}\)\(\def\Arctan{\operatorname{Arctan}}\)\
3  \(\def\Arcsinh{\operatorname{Arcsinh}}\)\(\def\Arccosh{\operatorname{Arccosh}}\)\
4  \(\def\Artanh{\operatorname{Artanh}}\)\(\def\Arsinh{\operatorname{Arsinh}}\)\
5  \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
6  \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
7  \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
8  \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
9  \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
10 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
11 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
12 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
13 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
14 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
15 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
16 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
17 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
18 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
19 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
20 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
21 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
22 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
23 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
24 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
25 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
26 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
27 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
28 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
29 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
30 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
31 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
32 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
33 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
34 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
35 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
36 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
37 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
38 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
39 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
40 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
41 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
42 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
43 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
44 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
45 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
46 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
47 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
48 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
49 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
50 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
51 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
52 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
53 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
54 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
55 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
56 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
57 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
58 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
59 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
60 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
61 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
62 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
63 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
64 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
65 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
66 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
67 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
68 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
69 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
70 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
71 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
72 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
73 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
74 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
75 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
76 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
77 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
78 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
79 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
80 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
81 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
82 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
83 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
84 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
85 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
86 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
87 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
88 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
89 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
90 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
91 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
92 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
93 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
94 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
95 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
96 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
97 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\
98 \(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\
99 \(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\(\def\Atrsinh{\operatorname{Atrsinh}}\)\
100 \(\def\Atrcosh{\operatorname{Atrcosh}}\)\(\def\Atrtanh{\operatorname{Atrtanh}}\)\

```

問題の整理 | 問題のテストとデプロイ

次の線形方程式系 (※) の解を求める計算を Cramér の方法で以下の様に行った。

$$(*) \dots \begin{cases} x + y + z = -4 \\ 5x + 4y - 5z = 0 \\ 25x + 16y + 25z = 3 \end{cases}$$

□ 内に適切な数値または数式を書き入れることでこの手順を完成させなさい。

ただし数式は **半角英数字** を用いた CAS 記法で書き入れなさい。CAS 記法についての詳細は省略するが、例えば -1 は (-1) 、 $\sqrt{2}$ は $\text{sqrt}(2)$ 、 ∞ は inf 、 $-\infty$ は minf 、 d_n は d_n 、 $\frac{b}{a}x^c + d(\sqrt[n]{y+z})^m$ は $(b/a)*x^c+d*(y+z)^(n/m)$ と書くものである。同記法ではまた、円周率 π は $\%pi$ 、Napier 数 e は $\%e$ 、虚数単位 i は $\%i$ と記す。

(Step 1) 係数行列 A と定数項ベクトル b は以下の通りである。

$$A = \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} \square \\ \square \\ \square \end{bmatrix}$$

(Step 2) A の第 1 列を b に置き換えた行列を A_1 、第 2 列を b に置き換えた行列を A_2 、第 3 列を b に置き換えた行列を A_3 とする：

$$A_1 = \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix}, \quad A_3 = \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix}$$

(Step 3) 各々の行列式を計算すると $|A| = \square$ 、 $|A_1| = \square$ 、 $|A_2| = \square$ 、 $|A_3| = \square$ より、線形方程式系 (※) の唯一の解を次のように得る。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \square \\ \square \\ \square \end{bmatrix}$$

```

a1: 3+rand(3);
a2: -2-rand(3);
a: rand([a1,a2]);
b1: a1+1+rand(2);
b2: -a1-1-rand(3);
b: rand([b1,b2]);
c1: a1-1-rand(a1-2);
c2: a2+1+rand(-a2-1);
c: rand([c1,c2,-a,-b]);
e1: 2+rand(5);
d1: rand([e1,-e1]);
e2: rand(5);
d2: rand([e2,-e2]);
e3: 1+rand(5);
d3: rand([e3,-e3]);
A: matrix([1,1,1],[c,a,b],[c^2,a^2,b^2]);
bd1: [d1,d2,d3];
bd: transpose(matrix(bd1));
B: transpose(A);
B1: matrix(bd,B[2],B[3]);
B2: matrix(B[1],bd1,B[3]);
B3: matrix(B[1],B[2],bd1);
A1: transpose(B1);
A2: transpose(B2);
A3: transpose(B3);
dA: determinant(A);
dA1: determinant(A1);
dA2: determinant(A2);
dA3: determinant(A3);
Answer: matrix([dA1/dA],[dA2/dA],[dA3/dA]);
ordergreat(x,y,z,1);

```

さらに問題文中で明示的に与える行列を Maxima により変形して解答欄に入る模範解答の記述を得ます。

最後にこれに合わせて PRT を作成して採点基準を決めてやれば自動的に採点が行われることとなります。

ただし、事前に何度か問題の生成と解答のチェックを行わないと、期待した結果となることが保証できませんので、そ

の点は注意が必要です。

7. 最後に

通常の小テストや試験と比較すると、事前の準備に 2 倍ないしそれ以上の労力が必要になりますが、特に受講学生の人数が 100 人程度以上の場合や長期に亘って同一の科目を担当する場合にはこれは問題にはならず、むしろ平均すれば労力は多くないと考えられます。しかしそれ以上に、今後増える一方の多様な学生にも受験機会を公正かつ公平に保つことができ、さらに人為的な採点ミスを防ぐことも期待できる為、使い方によっては非常に有効なシステムであると考えます。

参考文献

- 中村 泰之, 数学 e ラーニング 数式解答評価システム STACK と MOODLE による理工系教育: 東京電機大学出版局, 2010. ISBN : 978-4501548209
- Leslie Lamport, LaTeX: A Document Preparation System, Addison-Wesley Professional, 1994. ISBN : 978-0201529838
- Gnuplot, <http://www.gnuplot.info>
- Maxima, http://maxima.osdn.jp/maxima.html#SEC_Top
- Moodle Docs, https://docs.moodle.org/311/en/STACK_question_type: GNU General Public License
- Safe Exam Browser, https://docs.moodle.org/3x/ja/Safe_Exam_Browser