

情報処理センター
研 究 報 告

The Bulletin of the Information Processing Center

第 30 号

(2009.3)

岡山理科大学

Okayama University of Science

岡山市北区理大町1-1

Tel (086) 252-3012 (直)

目 次

1. 学習履歴データの分析によるLMS「MOMOTARO」の機能改善とモバイル対応

情報科学専攻	小 池 崇	1
情報科学専攻／情報処理センター	大 西 荘 一		
情報科学専攻	井 上 紀 明		
情報科学専攻	井 上 善 勝		

2. 出席登録・課題提出・オンライン試験システムの運用結果と効果

情報処理センター	岩 崎 彰 典	9
----------	---------	-------	---

3. 同期双方向による学習システム環境の開発

情報科学科	河 野 敏 行	13
-------	---------	-------	----

4. Google Earth を利用した地磁気変動モデルの可視化

情報処理センター	畠 山 唯 達	19
----------	---------	-------	----

5. 連成 Hamilton 系に対する交互シンプレクティック法

情報科学専攻	榊 原 道 夫	27
情報科学専攻	古 松 和 治		

学習履歴データの分析によるLMS「MOMOTARO」の 機能改善とモバイル対応

小池 崇*, 大西 荘一* **, 井上 紀明*, 井上 善勝*

* 岡山理科大学大学院 総合情報研究科 情報科学専攻
** 岡山理科大学 情報処理センター

1. はじめに

大西研究室で開発された LMS 「MOMOTARO」は、平成 14 年度から岡山理科大学と教育協定を結んだ高等学校との高大連携遠隔授業の LMS として利用されている。平成 17 年度から高大連携遠隔授業と加計グループ関連大学で行われていた大大連携遠隔授業を融合し、広域遠隔授業「加計サイバーキャンパス」の LMS として利用されている[1][2][3]。また、高梁学園が実施している「メディア授業」や文部科学省戦略 GP「科学 Try アンゲル岡山」にも LMS 「MOMOTARO」が使用されている[4]。今後さらに文部科学省戦略 GP「岡山オルガノン」でも使用される予定である。図 1 は加計サイバーキャンパス、図 2 はメディア授業のトップページである。

昨年度、保存された LMS 「MOMOTARO」の学習履歴データを視覚化するビューア「KIBIDANGO」を開発した[5]。これまで LMS 「MOMOTARO」は、実運用を通じて発覚した問題点の改善や開発者が必要と認識した機能、受講生・講師からの要望に基づいて改良・開発を進めてきた。今回それに加えて「KIBIDANGO」を用いて学習履歴データの分析を行い、その結果を考察し必要と考えられる新しい機能を追加した。

また、現在「MOMOTARO」は PC からのアクセスのみ可能であるが、さらにユビキタスなシステムを目指して携帯端末からのアクセスを可能にする機能の開発を進めている。



図 1. 加計サイバーキャンパスのトップページ



図 2. メディア授業のトップページ

2. LMS「MOMOTARO」の概要

LMS 「MOMOTARO」の主な機能として、科目や受講者の出欠管理、VOD 教材コンテンツの配信、課題提出機能、テスト問題・採点機能、アンケートの提出・集計管理、学習履歴データの保存、お知らせ管理、掲示板・チャット管理等がある。

表 1 は加計サイバーキャンパスの年度別の実履修登録者数を表にしたものである。年々科目数・実履修登録者数ともに増加傾向にある。

表 1. 加計サイバーキャンパスの年度別実履修登録者数

年度	科目数	実履修登録者数 (()内は高校生)
H18 年度	19 科目	973 名 (46 名)
H19 年度	26 科目	1493 名 (73 名)
H20 年度	32 科目	1565 名 (81 名)

3. 「KIBIDANGO」の概要[6]

「KIBIDANGO」の目的は、「MOMOTARO」に蓄積された学習履歴データを分析することで、受講生の学習行動を把握し、より教育の質を高める効果的な LMS 機能の開発、及び授業改善のための情報を提供することである。学習履歴データとは、受講生がどのように授業を受講し、学習を進めたかなどの成績に関わる情報である。個人の成績に関わる情報のためセキュリティに十分配慮する必要がある。

昨年度、「MOMOTARO」に蓄積された学習履歴データを CSV ファイル形式で保存する機能を加えた。「KIBIDANGO」は、学習履歴データを分析しやすい形に整形し表示する。「MOMOTARO」に蓄積される学習履歴データは以下の情報である。

- ・ 受講生情報
- ・ 科目・シラバス情報
- ・ 提出物ファイル
- ・ 出欠情報
- ・ 掲示板・チャット情報
- ・ 教材・科目アクセスログ情報
- ・ お知らせ情報
- ・ 教材情報

KIBIDANGO の表示・集計機能

(1) 表示可能な学習履歴データ

- ・ 基本科目情報(シラバス情報)
- ・ 受講生情報
- ・ 受講生の出欠情報
- ・ 講義で使用した教材情報
- ・ ライブ授業サポートの情報
- ・ お知らせや掲示板等の情報
- ・ 科目・教材アクセスログ情報
- ・ LMS から送信されたメール情報
- ・ 受講生の提出物情報

(2) 集計・グラフ化可能な学習履歴データ

- ・ 科目・教材アクセスログ情報の集計
- ・ 出席カード・レポート提出日時の集計
- ・ 出席カードに設定される授業難易度に関する質問の集計
- ・ 出席カードの集計

4. 「KIBIDANGO」による分析 [7]

4.1 分析項目

「KIBIDANGO」による分析を以下の項目について行った。

- ① 授業難易度や欠席回数について
- ② 受講生の受講時間帯について
- ③ 教材アクセス・出席カード提出時期について
- ④ 学習行動の分析
- ⑤ 教材アクセスログの分析

以上の 5 項目について 2008 年度の学習履歴データを用いて分析を行った。本論文では、「教材アクセスと出席カード提出時期」について分析した結果、浮かび上がった問題点とその改善について報告する。

4.2 分析内容

2008 年度配信科目の出席カード提出期限は大きく分けて 2 パターンで設定されている。

- ① 全授業の出席カード提出期限を定期試験直前に設定
- ② 出席カードの提出期限を 3 回に分けて設定

パターン①の代表例として「科目 A」、パターン②の代表例として「科目 B」について分析を行った。

表2. 「科目A」「科目B」の講義情報

	科目A	科目B
配信時期	前期	後期
出席カード締め切り設定	全て7月22日に設定	3回に分けて設定
総講義回数	13回	13回

表2は二つの科目の講義情報である。この二つの科目は受講生の人数もほぼ同数で比較・分析するのに適していた。二つの科目の教材アクセスログ・出席カード提出時期を集計し、分析を行い考察する。

4.3 分析結果

パターン①の教材アクセスログについて分析する。図3、図4は「科目A」の6月教材アクセスログと7月教材アクセスログをグラフ化したものである。横軸が日付、縦軸がアクセス回数である。

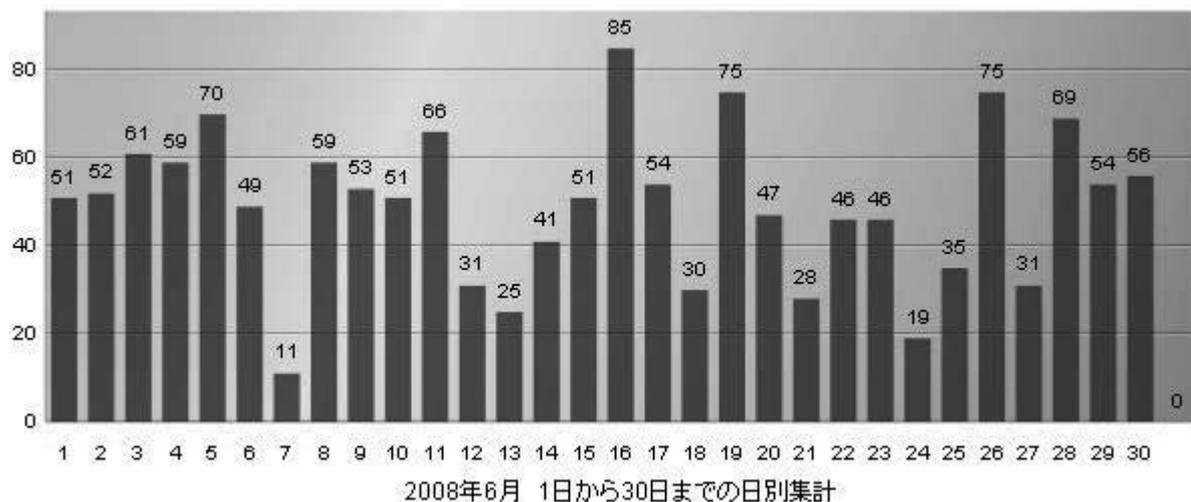


図3. 「科目A」の6月日別教材アクセス数（合計：1480）

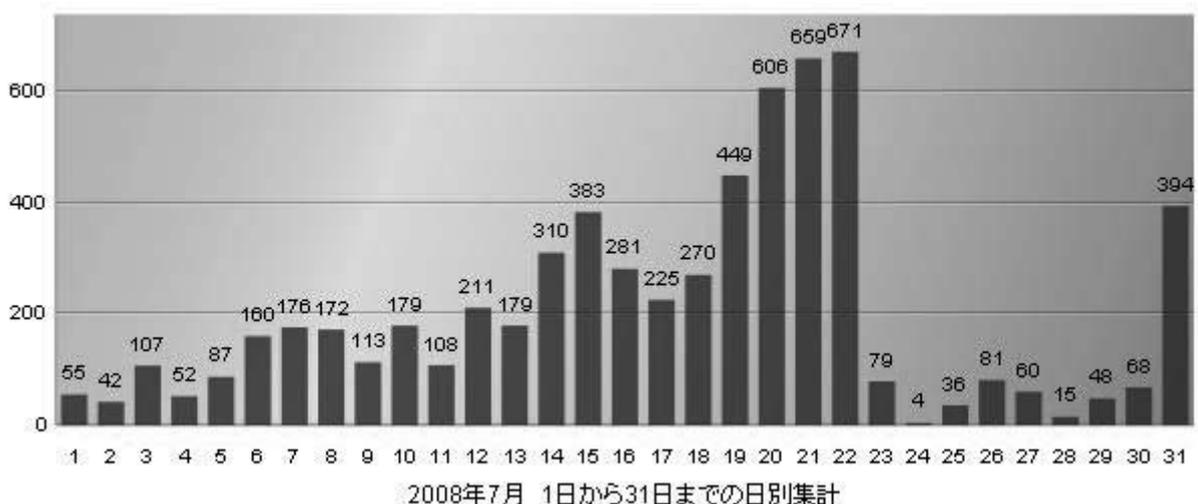


図4. 「科目A」の7月日別教材アクセス数（合計：6564）

図3では、アクセス数は1日に30回から80回程度で推移している。それに対し、図4では1日のアクセス数の最大は671回にもなっている。「科目A」は7月22日が出席カードの提出締め切りだが、図4の22日付近に注目すると急激にアクセス数が上昇している。このようなグラフになった原因として考えられる事は、出席カード提出締め切りである22日付近で、計画的に受講していない受講生がまとめて教材を閲覧したためだと考えられる。パターン①の他の科目に関しても同じような結果である。

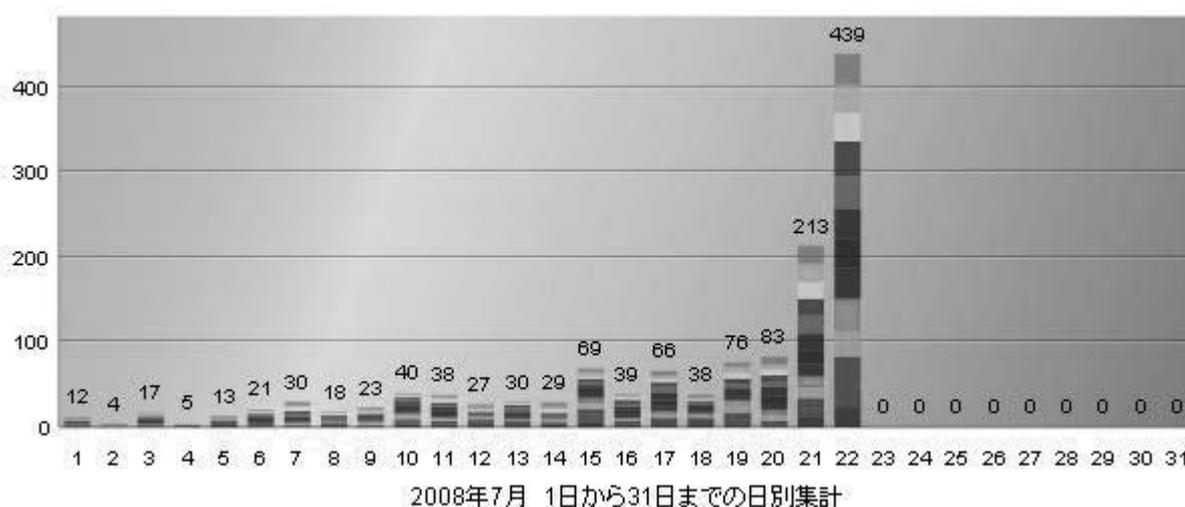


図5. 「科目A」7月の科目Aの出席カード提出数

図5は、7月の日別出席カード提出数をグラフ化したものである。横軸が日付、縦軸が提出数、13回の出席カード提出数を色で区別している。22日付近で急激に提出数が増えている。22日に出席カードが439通提出されており、そのうち約30%が講義1回から4回の出席カードである。すなわち約30%の受講生が本来なら5月末までに学習すべき講義を前期最終日にまとめて学習したことになる。このことから計画的に受講できていない受講生が多数いるものと考えられる。

科目Aの受講生全員について教材アクセスの状況を確認した。計画的に受講し毎週出席カードを提出している受講生は全体の約3割程度で、残りの7割は7月に入ってまとめて出席カードを提出していた。22日に全13回全ての出席カードを一度に提出している受講生もいた。出席カード締め切り間近にアクセスが集中する事は、サーバに過大な負荷がかかり好ましくない。また学習の効果も疑問である。

規則的な学習行動を促すには、パターン②のように出席カードの提出締め切りを複数回に区切ることが効果的であると考えられる。図6はパターン②の代表例としての科目Bの教材アクセスログの集計グラフである。

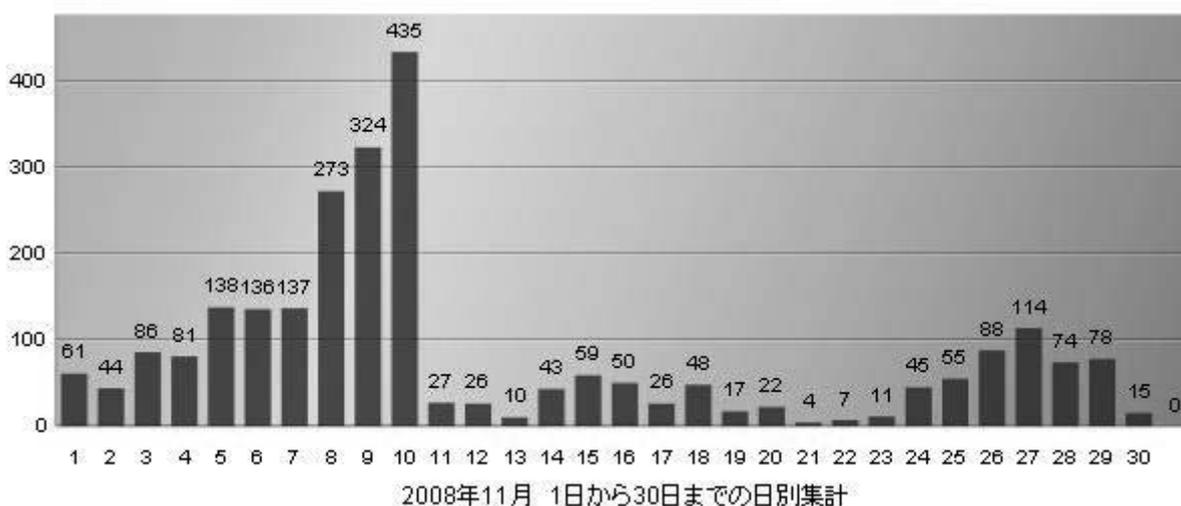


図6. 「科目B」11月度日別教材アクセス数

図6は横軸が日付、縦軸がアクセス回数となっている。科目Bは11月10日に第1回から第4回の出席カード、12月10日に第5回から第8回の出席カードの締め切り日に設定している。両月ともに図6が示すように締め切り日の10日付近でアクセス数が急に増加している。締め切り日付近でアクセス数が増えるパターンは①と変わらないが、13回の講義の提出締め切りを3グループに分けたのでアクセス集中は3回に分散された。図7は11月の日別出席カード提出数である。第1回講義から第4回講義の

しかし、管理者が受講生全員の受講状況を確認して受講を促すメールを送信するのは大変な手間がかかり現実的ではない。この作業を自動的に行う機能があれば受講生にとって大きなメリットになり、教員の負担軽減にもなる。出席カード提出締め切り日の自動案内機能を開発し、「MOMOTARO」に実装した。

5. 出席カード提出締め切り日自動案内機能

5.1 自動メール送信機能の仕様

自動メール送信機能の仕様は以下の通りである。

- ① 毎日決まった時間に実行する
- ② 提出期限 1 日前・3 日前・一週間前になっても出席カードを提出していない受講生に対しメールを送信する
- ③ 履修科目の情報を一括して案内する

5.2 実行結果

図 10 は案内メールの内容である。「受講生の氏名」、「締め切りが迫っている講義名」、「講義番号」、「締め切り日までの日数」をメールで案内する。

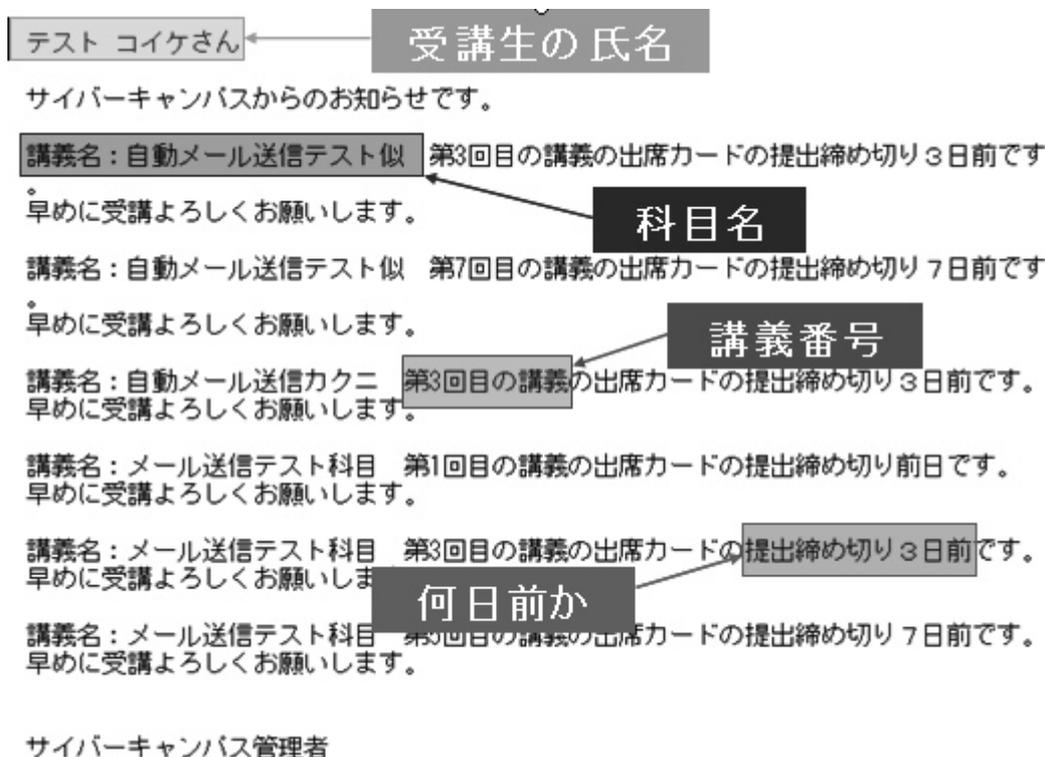


図 10. 実際に送られてくるメール

出席カードの提出締め切り日が近いことをメールで知らせることにより、学習を促すとともに、出席カードの提出忘れを防止する。

6. LMS「MOMOTARO」のモバイル化

6.1 携帯端末用「MOMOTARO」の構築

現在 LMS「MOMOTARO」の更なるユビキタス化として、携帯端末への VOD 配信等を計画している。今回、携帯電話からのログイン、科目アクセスログ、出席カードの提出機能を実装した。出席カードの提出が携帯電話から可能になったことで、対面授業においても出席管理やアンケートに利用でき、「MOMOTARO」の用途はさらに増したものと考える。

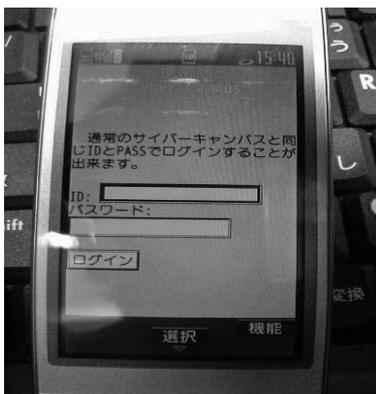


図 11. 携帯端末用 MOMOTARO の TOP

6. 2 現状の課題

VOD教材で学習するには携帯電話の画面サイズでは無理がある。学習用モバイル機器としては、いわゆる携帯端末を考えている。現在、使用しているVODコンテンツ作成ツールソフトウェアで作成した教材では携帯端末で閲覧することができない。新たな携帯端末用VOD教材作成システムを構築しなければならない。

携帯端末ではオフライン学習が主になると考えている。携帯端末用VOD教材をMOMOTAROから受講生のPCにダウンロードし保存する。受講生PCと携帯端末をUSB接続などで接続し、受講生の携帯端末にVOD教材をダウンロードする。VOD教材の著作権保護と学習確認が課題となる。モバイル用VOD教材と学習管理の仕組みが必要になる。

7. おわりに

今回「KIBIDANGO」を用いて学習履歴データの分析を行い、その結果を考察してLMS「MOMOTARO」を改善した。今後も学習履歴データを「KIBIDANGO」を用いて分析を行い、LMS「MOMOTARO」の改善を進めるとともにeラーニングにおける教育の質向上に取り組む。

また、モバイル化には難しい課題があるが、それらを解決しさらにLMS「MOMOTARO」を進化させる。

参考文献

- [1]加計サイバーキャンパス <http://cyber.kake-group.jp>
- [2] 大西荘一, 「インターネット遠隔授業による高大連携教育」 私学経営 Vol. 346, pp. 23-30, 2003
- [3] 大西荘一, 他 7 「加計グループ・サイバーキャンパスを支えるLMS「MOMOTARO」」
岡山理科大学情報処理センター研究報告第 27 号, pp. 37-43, 2006, 3
- [4]メディア授業 <https://media-tei.jp/>
- [5]荒川智明, 「LMS「MOMOTARO V6」の研究開発～学習履歴データの保存と活用及びV5からの機能向上～」平成 20 年度修士研究要旨集 総合情報研究科, pp. 1~4 2009, 3
- [6]大西荘一, 他 2 名 「サイバーキャンパスにおける学習履歴データ活用のためのビューア
' KIBIDANGO ' の開発」情報処理センター研究報告 Vol. 29
- [7]小池崇, 他 3 名 「サイバーキャンパスにおける学習履歴データの分析」
日本教育情報学会年会論文集 25(2009) pp. 102~105

出席登録・課題提出・オンライン試験システムの運用結果と効果

情報処理センター

岩崎彰典

1. はじめに

学生の出席意欲、予習・復習の重要性が指摘されている。そのため、出席登録・課題提出・オンライン試験システムを構築し08年前期に試験運用し、08年後期・09年前期に本格運用を始めた。試行例は少ないが今回、出席率の結果、及びオンライン試験による時間外学習の結果を報告する。

2. オンライン出欠システムの運用結果と効果

教員にとって出欠の確認が重要であるが、遅滞なく公正に行うことは大規模のクラスではかなり困難である[1]。例えば現在、携帯電話による出席登録も検討されているが本人の存在が確認できない問題がある。実際、メールアドレスを他人に教えることにより代返を行ったケースが認められる。本システムではログ上に発信元IPアドレスを記録することにより教室内のパソコン上からの出席登録かどうか分かるようにしている。

学生の出欠状況は、サーバー上のテキストベースのデータベースに表：1のように、出席日と出席か遅刻か30分以上の遅れかが記録される。日付の後のokは出席、ngは遅刻、xxは30分以上の遅れを表している。従って、教員は学生の出欠状況を授業開始時に把握することができる。

また、出席状況は「出席、遅刻、受講と認めない」をそれぞれ、2点、1点、0点と評価し、サーバー上に記録している。さらに出席ポイントをリアルタイムに学生へ提示するとともに携帯電話にも通知し、学生は自分の出席状況を知ることができる。このことにより学生の出席へのモチベーションを上げることを試みている。

表：2にサーバー上での出席ポイントの記録を示す。メールでの出席確認時点での出席率を表：3、学生にリアルタイムで出席状況を伝えている場合の出席率を表：4に示す。正式な運用期間は少ないが若干の改善が認められる。

表：1 出席登録の例

```
1021ok, 1028ng, 1104ok, 1111ok, 1118ok, 1125ok, 1202ok, 1209ok, 1216ok
1021ok, 1028ok, 1104ok, 1111ok, 1118ok, 1125ok, 1202ok, 1209ok, 1216ok
1021ok, -----, -----, 1111xx, -----, 1125ok, 1202ok, 1209ng, -----
-----, 1028ok, 1104ok, 1111ok, 1118ok, -----, 1202ok, 1209ok, 1216ok
1021ok, 1028ok, 1104ok, 1111ng, -----, 1125ok, 1202ok, 1209ok, 1216ok
1021ok, -----, 1104ok, 1111ok, -----, 1125ok, 1202ok, 1209ok, 1216ok
```

表：2 サーバー上への出席ポイントの記録

	出席ポイント
q08x053aa@std.ous.ac.jp 1216	17
q08x054bb@std.ous.ac.jp 1216	18
q08x055cc@std.ous.ac.jp 1209	7
q08x056dd@std.ous.ac.jp 1216	14
q08x057dd@std.ous.ac.jp 1216	15
q08x058ee@std.ous.ac.jp 1216	14

表：3 メールでの出席確認での出席率

学期	05 前期	05 後期	06 前期	06 後期	07 前期	07 後期
出席率	84%	76%	89%	87%	96%	87%
学生数	75	75	60	60	50	41

表：4 本人にリアルタイムで出席ポイントを連絡した場合の出席率

学期	08 前期	08 後期	09 前期
出席率	90%	88%	90%
学生数	81	53	100

概ね前期の出席率が良いのは、前期が必修であるためであろう。また、受講生が少ない場合も出席率が良い傾向がある。さらにポイント制を利用した場合、欠席数が多くなった場合はそれ以降、出席しなくなる傾向も見受けられる。

メールでの出席登録の場合、他人のアカウントで出席登録をしている学生が存在したが、本システムによってそれは無くなった。しかし、多人数の場合、出席登録後、後ろの席から出て行くケースも指摘されており、授業の最後までいたか確認できるような仕組みを考案していきたい。

3. オンライン試験の運用結果と効果

オンライン試験の特長は「いつでもどこでも」予習・復習ができることである。授業時間外の予習・復習の重要性がしている中、学生の自主的なオンライン試験へのアクセス数を調べた。表：5に授業時間外にオンライン試験へアクセスした件数を示す。09年前期の授業前のアクセスが非常に多い。実際、早くから来てオンライン試験を行っている学生を多く見かけた。反面授業時間外の利用が激減している。以外なのは、学外からのアクセスが少ないことである。携帯電話からもアクセスが可能なので、通学時間等を利用するなどの学習を促進したい。

表：5 授業時間外でのオンライン試験の使用実績

	授業前	授業時間外	学外から
08後期	35	52	8
09前期	116	11	8

オンライン試験の効果としては、出席登録後に時間のある学生が、ブラウザ上でゲームや動画を見る場合が多いが、注意をすることによってオンライン試験をさせることができる。

4. まとめ

ICT活用が叫ばれているなか、重要なことは、学生のモチベーションを如何に上げるかと考えられる。例えば、定期試験時に自分のWebメールアドレスを覚えていない、ファイル添付の際、ファイル名に全角を使ったり、空白があるケースがあり、教員がそのファイルを見ることができない等の問題が存在している。そのような基本的情報リテラシーの教育も含めシステムを改良していきたい。

参考文献

[1]今野浩, 数理決定法入門—キャンパスのOR—, pp. 90-, 1992

同期双方向による学習システム環境の開発

総合情報学部情報科学科

河野敏行

1. 概要

実習室等でプログラミングを指導する際、学生のプログラミング作成状況を把握、そしてアドバイスをすることが重要である。そのために机間巡回を行うことや、挙手による質問で適宜アドバイスを与えることが他の科目よりも多い。教卓のPCから、各学生のPCの状況を把握できることは大変便利なことである。このような支援ソフトはさまざま提供されているが、センター研究員として開発した分散数値計算システム[1]を改良することで、作成することを考えた。学生の作成するプログラムを学生と教員とで共有し、学習できる環境の整備の開発を目的とする。扱うプログラム言語はJavaScriptを想定する。

2. 分散処理システムを利用したプログラミング支援システムの利用

2007年に、情報処理センター研究員として、PHPとJavaScriptを利用した分散数値計算システムによる線型方程式の解法に取り組んだ[1]。このシステムは、ネット上のPCからサーバのホームページにアクセスすることで分散計算のクライアントとして設定し、サーバからの命令で分散計算を可能とするものである。図1が計算処理のイメージ図である。

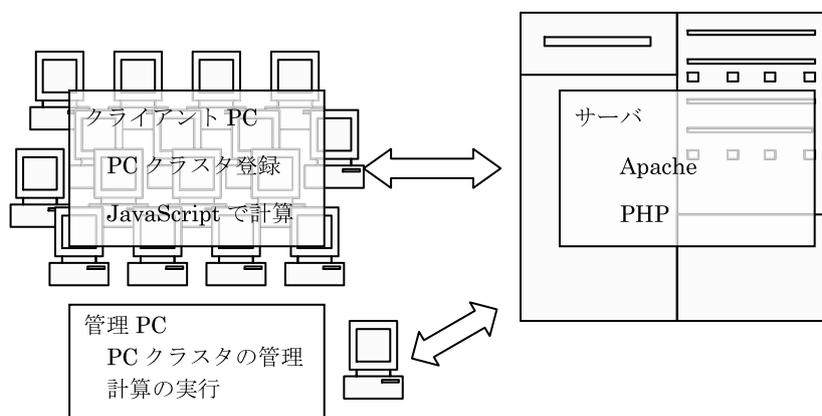


図1 サーバとクライアント、管理PC[1]

図1において、管理PCを教員PC、クライアントを各学生のPCとして、学習システムの構築を行う。

3. 同期双方向による学習システム

プログラミング学習として、教員PCから全体のクライアントPCに向けて、基本プログラムや課題の提示を行い、クライアントPCでは、専用のエディタでプログラムを作成し、

質問などがあった場合は、質問ボタンで教員に知らせ、教員 PC からプログラムの指導が行えるシステムを構築する。動作のイメージを図 2 に示す。

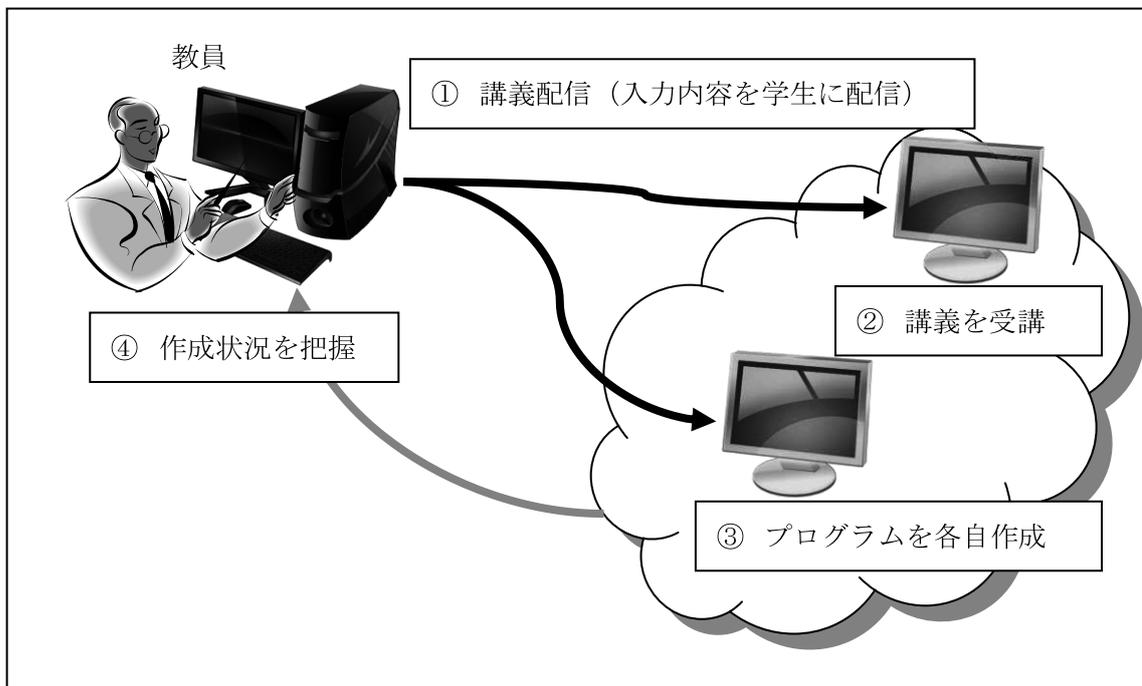


図 2 同期双方向学習システムのイメージ

図 2 に示したように、このシステムでは大きく分けて、講義の配信、プログラム作成状況の把握の 2 つの機能を持っている。

- ・ 講義の配信

- ① 講義配信 (入力内容を学生に配信)

教員は Web ブラウザ上のエディタ内にプログラムの説明をキーボード入力または既に作成されたテキストファイルを読み込むことで、その内容で共有ファイルは更新される。

- ② 講義を受講

学生は教員が作成した共有ファイルを見ながら、説明を受けることができる。実験室の学生 PC 間に設置されている教員モニターやプロジェクタの役割をすることができる。この場合、教員 PC のすべての内容ではなく、エディタで書かれたテキスト内容だけである。将来的には、画像ファイルなども可能にする。

- ・ プログラム作成状況の把握

- ③ プログラムを各自作成

教員の説明の後、プログラムの作成を Web ブラウザ上のエディタを利用して、プログラムを作成する。

- ④ 作成状況を把握

各学生の作成している内容を教員はモニタリングが可能である（実験状況として説明，図8）．さらに各ユーザ名をクリックすることで，エディタに表示できるようにしている．

4. 学習システムの各操作部の説明

現在，開発中であり，動作確認の状態であるが，各操作部を説明する．教員と学生は同じログイン画面（図3）からアクセスを行い，教員と学生の認証を行い，教員専用のページと学生のページが開かれる．

図3 ログイン画面

教員側の基本画面は図4であり，左にログインしているユーザのアカウントを表示し，各ユーザ名をクリックすることで，各ユーザが現在，エディタを用いて入力しているプログラムが中央のエディタに表示される．



図4 教員側操作画面

右側に教員のフォルダに保存されたファイル一覧が表示され，ファイルを選択し，「ファイルを読む」ボタンを押すことで，中央のエディタに表示される．そして，右下のテキスト欄に入力されたファイル名でファイルを保存することができる．メインは中央のエディタ部であり，各学生に配信する内容を入力したり，各学生の入力している内容を表示したりすることができる．下の欄に「ログアウト」ボタン，そして，見本プログラムなどを全員

に配信するための、「全員にデータを配信」ボタン、各ユーザ名を表示した際に表示される学生名に対してデータを送信するための「個人にデータを送信」ボタン、そして、講義を配信するための「配信開始」「配信終了」ボタンそして、各ユーザの作業を一覧で表示する「一覧表示」ボタンを配置している。配信の際には、配信のための小ウインドウ（図5）を表示し、配信処理を行い、「配信終了」ボタンにより閉じられる。

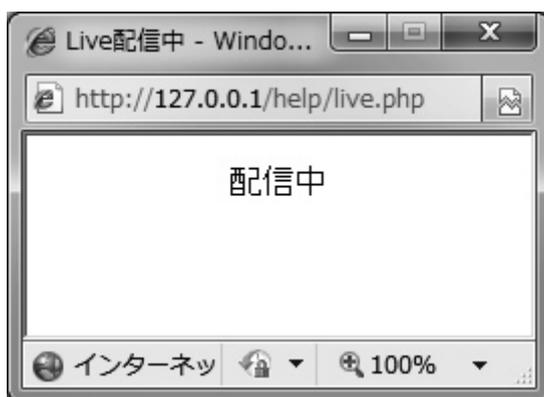


図5 講義配信のための小ウインドウ

学生がログインした際には図6に示したようなエディタと講義の受講状況が分かる小ウインドウ（図7）が表示される。小ウインドウはプログラム作成時と講義受講時とでは色分けをしており、質問ボタンを配置した。講義中または、プログラム作成中に質問が生じた際に教員に知らせるために設けた。質問ボタンの表示については現在、検討中である。



図6 学生用エディタ画面

学生用エディタ上部には、教員から個別または全体に配布されたファイルを開くための「先生からのファイル」ボタンと教員からの講義を受けるための「講義を受ける」ボタンと「講義終了」ボタン、作成中のファイルを表示するための「TEST」ボタンそして「LOGOUT」

ボタンを配置している。右側に、学生が保存したファイルを開くためのボタンを用意している。保存する場合は新規または既存のファイル名を指定することができる。ログアウトをすると質問ボタン付き小ウインドウは閉じられる。

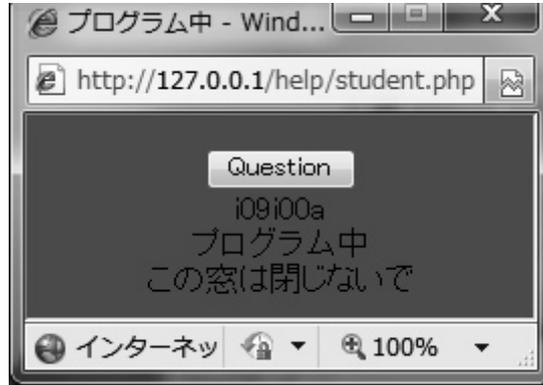


図7 質問ボタン付き小ウインドウ

5. 実験状況

6名のユーザがログインした状況で、一覧表示させた画面が図8である。表示を小さくすると書かれているプログラムが読みにくくはなるが、大体の作業の様子が一覧でき、机間巡回をするより、学生の進捗状況が把握しやすいように思う。全体を見渡すことができるモニタリングは大変有効であり、この画面を中心に、ユーザの問い合わせの確認や指導がスムーズにできる仕様になるとより使いやすいと思われる。

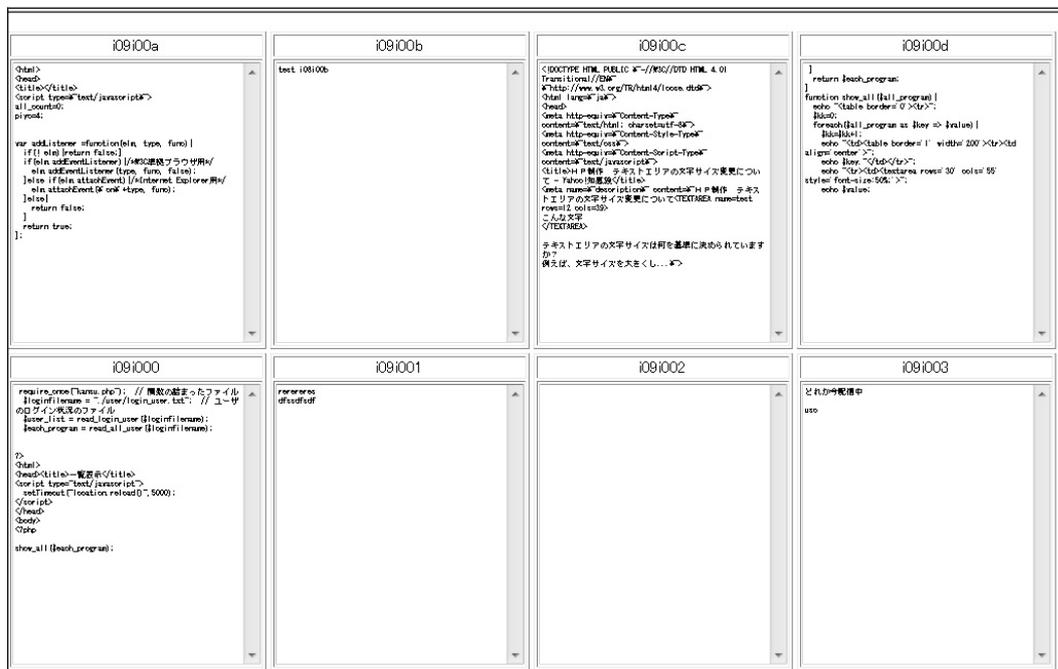


図8 各ユーザの作業をモニタリングする一覧表示

6. 考察

今回の同期双方向の学習システムを開発するに当たって、分散計算環境[1]の基本的な仕組みを利用した。分散計算ではクライアントで処理する計算をサーバで統括をするというサーバとクライアントのやり取りがメインとして動作しており、数値計算がサブ的な処理となっていた。クライアントが行うサブ処理を変えることで、いろいろな計算が適用できる。今回は、サブ処理としてユーザがプログラムを書くということとして扱い、メインのサーバとクライアントのやり取りを生かすことで作成した。そして、講義に必要な機能として、質問ボタンとモニタリング機能、質問に個別回答や指導をする機能を追加した。このような講義に必要な機能は、実際に使用しながら改良することが必要であり、今後の課題が多く残されていると考える。質問に対する応答と、教員側からのアドバイスがより使いやすいことができる環境について改良が必要である。システムはまだ、試作段階であり、セキュリティやファイルの書き込みのトラブル対処など多くの問題点が残されており、実際に利用しながら、改良を進めていきたい。

参考文献

- [1] 河野敏行, 高速数値計算の実験, 岡山理科大学情報処理センター研究報告, 第 28 号 (2007)1-6

Google Earth を利用した地磁気変動モデルの可視化

Visualization of geomagnetic secular variations with Google Earth

* 畠山 唯達

岡山理科大学 情報処理センター

Tadahiro Hatakeyama

Information Processing Center, Okayama University of Science,

Okayama 700-0005, Japan

1 はじめに

近年の ICT 技術の発達によって、直感的にわかりにくいものや概念的に難しいものを説明する手段が増え、表現法も豊かになってきた。直感性が低いものや抽象的な学問的概念はもともと、学習者に対する教育コストが大きく、学習者本人にとっては「とっつきづらい」、「何だかわからない」ものと受け取られてしまいがちである。特に、電磁気学的物理量は見えない場をあらわすスカラーやベクトル量であり、一般の人や初学者にとって非常にわかりづらい量であることは否めない。筆者は地磁気の変動を研究対象としているが、これもまさに「見えないベクトル量」であることが原因でなかなか伝えづらいものであると強く感じている。地磁気を研究する分野では、普段地磁気を表現する方法として平面投影したものを使用するが、これらは慣れない学生にとっては直感しづらいものだし、プロの研究者どうしても時折表現法が問題で誤解を招くことがある。

そこで、地磁気ベクトルや古地磁気学で使用するデータをもっとわかり易くする表現法の研究を始めた。今回は、これまで^{[1][2]}に行った Google Earth^[3] を用いた地磁気ベクトルの可視化について、今年度に進捗した分を報告する。表現しているものやデータの作り方などは昨年の研究報告をご覧になっていたが、現状このようなものを表現するために Google Earth が最適な手段だと判断した理由は、(1) 無料かつマルチプラットフォームであること、(2) もっともよく普及しているもの (他にもバーチャル地球や 3 次元フレームがあるが、Google Earth ほど皆が知っているものがない)、(3) 利用法が直感的であること、などである。

Google Earth でははじめから丸い地球の上に衛星・空中写真による地表の画像が表示され、さらに地図情報や Wikipedia とリンクした位置情報などが用意されている。さらにユーザー自身が自分のデータを追加することができる。これらのマークなどは KML という XML の 1 種のファイルに保存されるが、別途 KML ファイルを作成することで Google Earth 上にポリゴン、画像、などを配置することができる。本研究では地磁気の様子を表す磁力線や地表で観測される地磁気成分の等高線マップなどを Google Earth 上に投影し、3 次元的な磁場の広がり表現することを目的としている。

今年度では、以下のような新規公開分、変更点などがあったので報告する。

- 公開する KML の追加
- 公開サイトの充実とサイト URL の変更
- 3 次元可視化に関する考察

*hatake@center.ous.ac.jp

2 新規に公開した KML ファイル

昨年の報告では、2007 年度の立ち上げ期に作成して公開した (a)2005 年現在の地球磁場、(b) 過去 1 世紀間 (AD 1900-2005) の地磁気変動モデル IGRF^[4]、(c) 日本における過去 2000 年間の地磁気方位の変化モデル^[5]、の 3 つの地磁気モデルについてを表す KML を紹介した。ここでは、昨年度の研究報告以降で現在までに開発・公開している、3 種類の異なる期間における地磁気変動モデルを表した KML ファイルを紹介する。作成方法などは昨年とほぼ同じであるが、磁力線の足の配置や積分間隔等のパラメータは多少変更している。

2.1 過去 400 年の現在の地球磁場

西暦 1900～2005 年の標準地球磁場モデル (IGRF: International Geomagnetic Reference Field^[4]) は機械を用いた地表での観測データおよびごく近年の人工衛星によるデータをもとに、全地球的なモデルを作成したものである。しかし、それ以前は地球上の広い領域で地磁気が定常的に観測されてこなかった。これより古い地磁気のモデルを作成するためには、人間が観測した断片的な地磁気方位・強度のデータや古地磁気学的手法を用いて過去の岩石等から復元したデータを使用する必要がある。

Jackson et al. (2000)^[6] は、Jonkers et al. (2003)^[7] が収集整理した 16 世紀終盤以降の航海士たちが観測した地磁気データをもとに過去 400 年 (AD 1590-1900) の地球磁場モデルを構成した。

ここでは、このモデルをもとに地球磁場の磁力線と伏角、偏角等成分を計算し、KML ファイルを作成した。なるべく滑らかになるように 2 年おきのデータを作成した (図 1)。

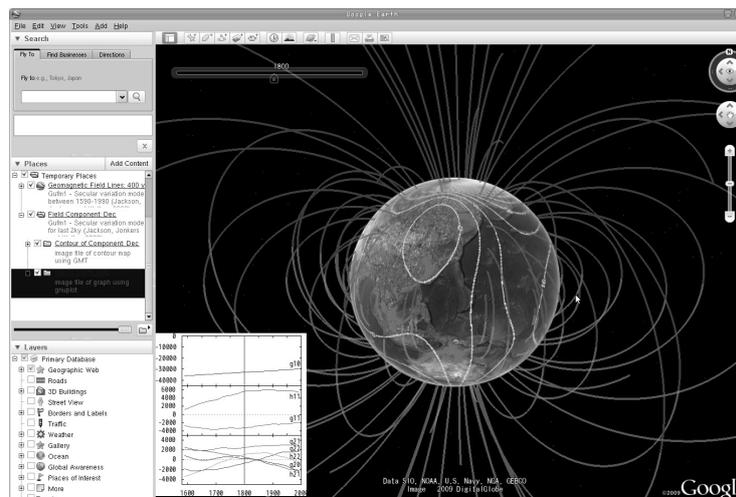


図 1: 過去 400 年分の磁場変動 (Jackson et al., 2000) における、磁力線と地表での磁場方位成分。この図では、磁力線と偏角 (D) を同時に表示している。

2.2 過去 7000 年の現在の地球磁場

上記の過去 400 年より長い地磁気モデルを作成するためには、もはや人間が直接観測したデータだけに頼ってはいけなくなる。もっと長期間に地磁気の証拠を残したデータ、すなわち過去の岩石等に残された残留磁化を測定し復元する古地磁気学的手法が不可欠になる。古地磁気学的手法の対象となるもののうち最も残留磁化の素性がよいものは、土器の破片や土器を焼いた窯跡などの考古学的遺物である。前者からは信頼性の高い過去の地磁気強度のデータが、後者からは同じく信頼性の高い地磁気方位のデー

タが得られる(中島, 夏原, 2001^[8] など)。さらに、湖沼の底に溜まった泥をボーリングして採取し古地磁気測定して得られた地磁気の方角は堆積した時の地磁気を反映していると考えられる(小玉, 1999^[9])。これらのデータは比較的信頼性が高いだけでなく、時間的連続性があるため、地磁気の変動を復元するためには必要不可欠である。

上記のような考古地磁気データや湖沼堆積物の古地磁気データから過去数千年の地磁気変動を復元するモデルがこれまでにいくつか提唱されてきたが、ここでは、過去 7000 年の全球的な地球磁場を復元したモデル(Korte and Constable, 2005^[10])から地磁気の磁力線と方位を計算し、Google Earth 上に表現した(図 2)。

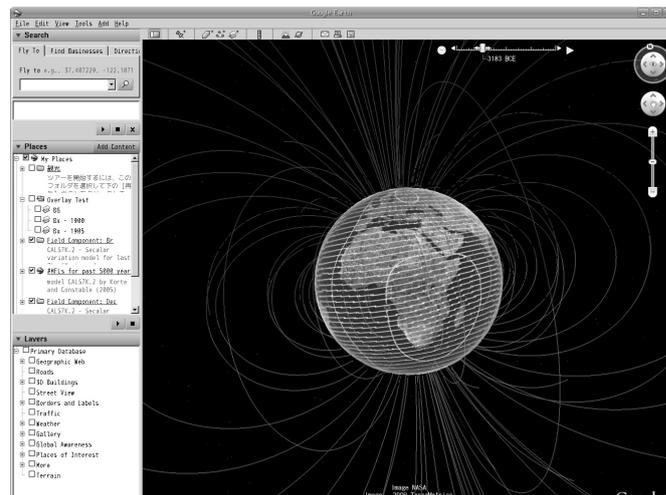


図 2: 過去 7000 年分の磁場変動(Korte and Constable, 2005)における、磁力線と地表での磁場方位成分。この図では、磁力線と偏角(D)を同時に表示している。50 年毎にモデルから磁力線、磁場成分を計算している。

2.3 地磁気逆転途中の地球磁場

地球の磁場は過去幾度に渡りその極性が逆転してきた(たとえば^[9]を参照)。その最後の逆転は今から約 78 万年前にあったと考えられるもので、逆転を挟む前後の極性の名前から「松山-ブルン地磁気逆転境界」と呼ばれる。この逆転境界については古地磁気データがある程度得られていて、全地球磁場のモデルを作成する試みが行われている。

データの数が少なく分布もまばらであること、時代誤差をたぶんに含むと考えられることから、これらのモデルには多分の不確実性があると考えられる。とはいうものの、逆転途中の地球磁場の様子を表現している一つであるので、KML ファイルを作成し観察できるようにした。ここで用いたモデルは、Leonhardt and Fabian (2007)^[11]によるものである(図 3)。

過去に地磁気の逆転があったということは広く理科の教科書に記述されているが、どのように起こっているかは学生だけでなく専門家にとっても大変つかみづらいものである。本研究の KML ファイルを用いれば、逆転途中に起こっているできごとの様子が手に取るようわかるので、教育研究に大いに役立つと考えられる。

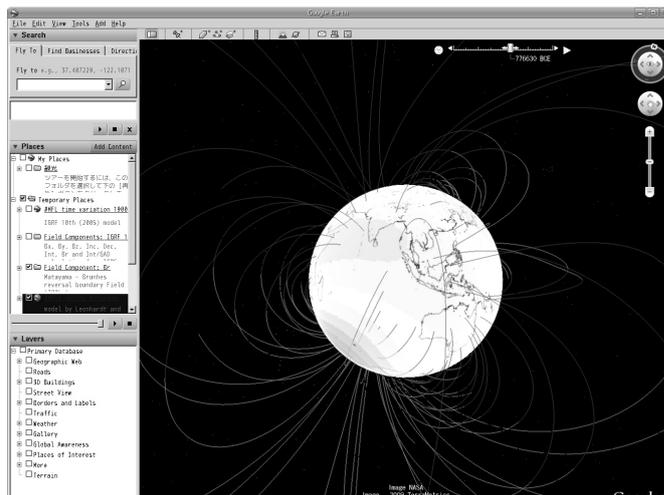


図 3: Matuyama/Brunhes 地磁気逆転境界(約 78 万年前)の磁場変動モデル (Leonhardt and Fabian, 2007) における、磁力線と地表での鉛直磁場成分 (B_z)。磁力線からは地磁気逆転時における地磁気の「流れ」の様子が、鉛直成分の等高線マップからは磁場が弱くなる様子と磁気赤道の変化の様子がよくわかる。このモデルの場合、地磁気双極子が弱くなっている逆転期間では地磁気四重極子が卓越している。

3 プロジェクト名、配布サイトについて

これまで、「Google Earth による地磁気の可視化」というタイトルで配布サイトを運営してきたが、プロジェクト全体に MAGE (Mapping Applications to Geomagnetic Environments) というタイトルをつけ、配布サイトの URL を <http://mage-p.org/> にした (図 4)。使用法についてのビデオ (図 5) も作成し、Youtube へアップロードした動画をサイト内に貼り付けた。また、特に日本語のサイト内では、地磁気の成分や変動についての簡単な解説を加え、一般や学生の皆さんにとつきやすいサイトを目指している。



図 4: 各種 KML ファイルを配布しているサイト <http://mage-p.org/> 英語ページ (左) と日本語ページ (右)。日本語ページには地磁気とその変動に関する簡単な解説も載せている。

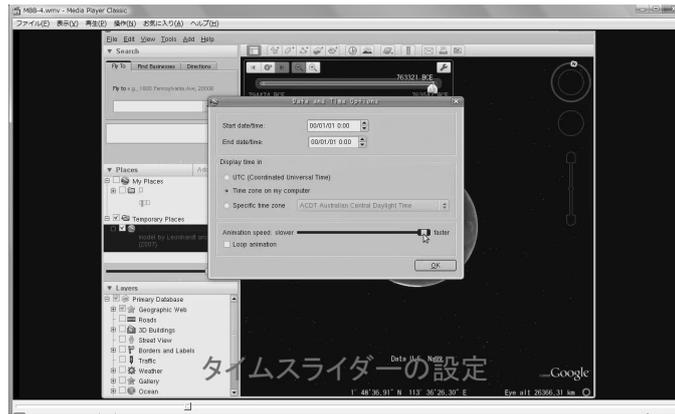


図 5: サイト内に埋め込んだ使用法動画。動画自体は Youtube へアップして、他のサイトからもリンクできるようにしている。

4 3次元可視化について

Google Earth は 3 次元的可視化ツールであることは確かだが、実際にはモニタ上で表示・操作するので 2 次元的なアプリケーションであることは否めない。そこで、現在以下のような方法で 3 次元的な体験を提供する実験をしている。

1. Google Earth 内で左右に視点を少しずらして撮ったスナップショットを交互に出すアニメーション GIF 形式のファイルを作成 (図 6)。
2. 上を発展させ、左右両眼用に Google Earth を操作している動画を撮り合成した、3 次元立体視動画の作成 (図 7)。

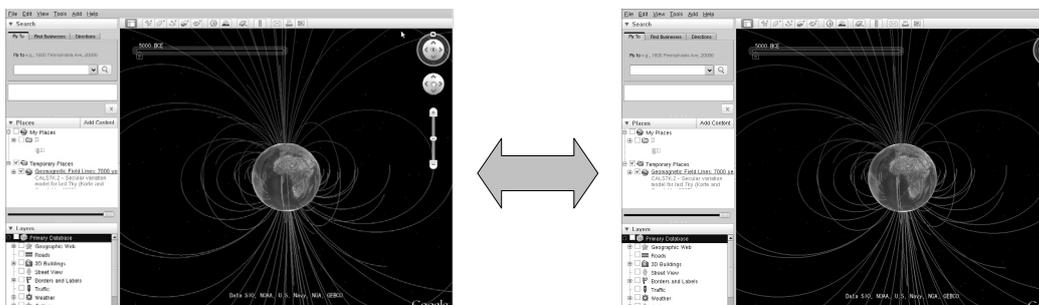


図 6: アニメーション GIF による立体視のテスト。左右の画像が交互に出る (切り替え時間は約 0.2 秒) ことによって立体的に見える。

今後、教育・アウトリーチや研究の現場でより立体感を感じるために、Dagik Earth^[12] や Google Earth Plugin API (ブラウザで使用する Google Earth) を利用した 2 画面同期 Google Earth を用いた平行法立体視、立体ディスプレイなどについても実験をする予定である。

5 まとめ

昨年に引き続き Google Earth を用いた地磁気の 3 次元可視化について報告した。ここまでの成果で磁力線と観測成分というものを通して直感的に見えない磁場を理解することができるようになるのではな

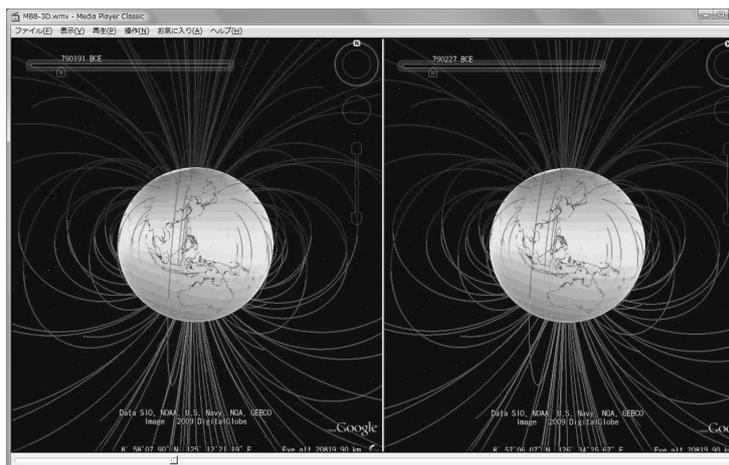


図7: 立体視動画。平行法立体視を使用しているが、画像間が結構開いているので立体視用メガネを使って見ることを想定している。

いかと考えられる。今後は KML ファイルの種類を増やす (たとえばダイナモシミュレーションの数値計算結果) とともに、教育・啓蒙・研究の現場での実践機会を多く作りたい。また、より3次元的 (時間軸も入れれば4次元的) に体感できるような方法を模索していきたい。

昨年の報告書でのまとめにも記載した今後の課題のうち、「磁場の強さの表現」や「KML ファイルの自動生成」についてはまだ未解決である。これらの点についても引き続き研究改良を重ねていきたい。また、結果的に古地磁気学がもたらした重大な地球科学上の発見であるプレートテクトニクスと大陸移動についても、学習研究に役立つ KML ファイルを作成・提供する予定である。

謝辞

Google Earth は Google Inc. の登録標章です。本稿で紹介する KML ファイルを含め、Google Earth の画像等をホームページや印刷物に使うときは、Google 社の許諾をお取り下さい。

References and Notes

- [1] 畠山 唯達, Google Earth を利用した地磁気・古地磁気・岩石磁気データの可視化, 岡山理科大学情報処理センター研究報告, **29**, 31–38, 2008.
- [2] Hatakeyama, T., 3D projection of geomagnetic field and paleo/rock magnetic data on Google Earth, *Data Sci. J.*, 2009 (submitted)
- [3] Google Earth
<http://earth.google.com/>
- [4] Maus S., Macmillan S., Chernova T., Choi S., Dater D., Golovkov V., Lesur V., Lowes F., Luhr H., Mai W., McLean S., Olsen N., Rother M., Sabaka T., Thomson A., Zvereva T. and International Association of Geomagnetism, Aeronomy (IAGA), Division V, Working Group VMOD, The 10th generation international geomagnetic reference field *Phys. Earth Planet. Inter.*, **151**, 320–322, 2005.
- [5] Shibuya H., Geomagnetic secular variation in Southwest Japan for the past 2,000 years by means of archaeomagnetism, M.E. thesis, Faculty of Engineering Science, Osaka University, pp. 54, 1980.

- [6] Jackson A, Jonkers A. R. T. and M. Walker, Four centuries of geomagnetic data from historical records, *Rev. Geophys.*, **41**, 1006, 2000, doi:10.1029/2002RG000115.
- [7] Jonkers A. R. T., Jackson A and M. Walker, Four centuries of geomagnetic secular variation from historical records,
- [8] 中島正志, 夏原信義, 考古地磁気年代推定法, ニューサイエンス社, 2001.
- [9] 小玉一人, 古地磁気学, 東京大学出版会, 1999.
- [10] Korte M. and C. G. Constable, Continuous geomagnetic field models for the past 7 millennia: 2. CALS7K., *Geochem., Geophys., Geosys.*, **6**, Q02H16:doi:10.1029/2004GC000801, 2005.
- [11] Leonhardt R. and K. Fabian, Paleomagnetic reconstruction of the global geomagnetic field evolution during the Matuyama/Brunhes transition: Iterative Bayesian inversion and independent verification, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **253**, 172–195, 2007.
- [12] Dagik (Daily Geospace data in KML) in Kyoto University
<http://www-step.kugi.kyoto-u.ac.jp/dagik/>

Appendix. 昨年の研究報告に載せられなかった図の掲載

昨年の研究報告^[1]では、当初4枚の図を載せる予定であったが、Google社の許諾を取るのに手間取り、黒塗りの状態での掲載になった。よってここで改めて昨年の図を掲載しお詫びいたしたい。

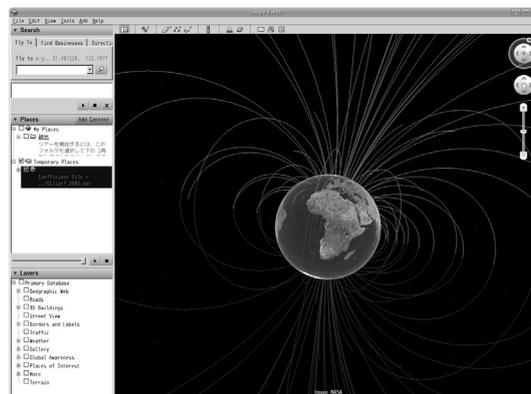


図 8: [2007 年度報告図 1] 現在の地球磁場 (IGRF 2005 分点モデル)。現在の地球磁場の北磁極はカナダにあるため、この図では、左下側に磁力線が集中している様子が見て取れる。

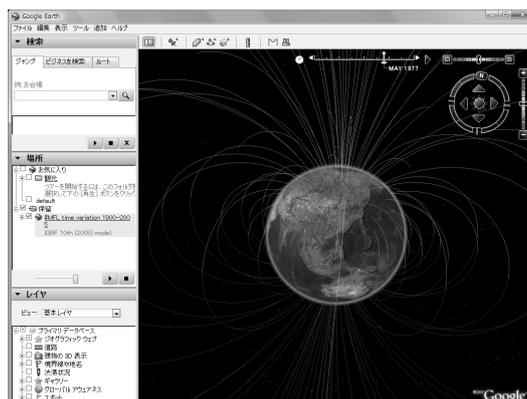


図 9: [2007 年度報告図 2] 過去約 100 年分の磁場変動 (IGRF 10th, 1900-2005)。画面上部に現れる Time Progress Bar を操ると時間変化の様子がアニメーションで表現される。

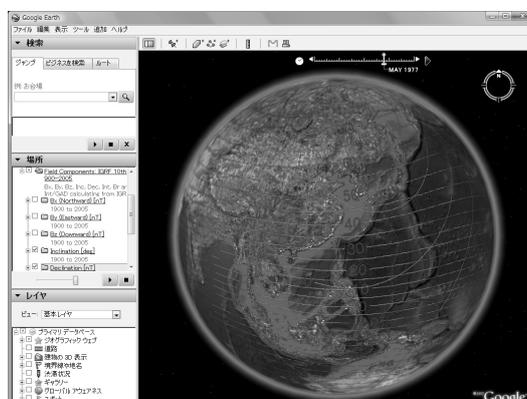


図 10: [2007 年度報告図 3] 過去約 100 年分の磁場変動 (IGRF 10th, 1900-2005) における、地表での磁場方位成分。この図では、伏角 (I) と偏角 (D) を同時に表示している。

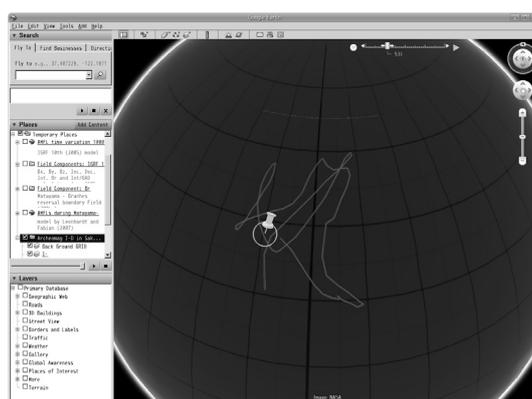


図 11: [2007 年度報告図 4] 方位データを表す I-D ダイアグラムを球面上にプロットしたもの。線は 2000 年分の磁場方位の変化を示し、ピンの位置は Time Progress Bar の時刻の方位 (円は平均値の 95% 信頼限界を表す)。中心の太線 (モノクロでは見えないかも知れない) が $D=0$ で、上方に行くにつれ I が深くなる。このプロット上では Fisher 統計的な誤差は真円となる。等面積投影などの 2 次元投影法では誤差円が楕円様になるが、学生がよく混乱しがちな問題である。

連成 Hamilton 系に対する交互シンプレクティック法

岡山理科大学大学院 総合情報研究科 情報科学専攻 榊原道夫
岡山理科大学大学院 総合情報研究科 情報科学専攻 研究生 古松和治

1. はじめに

ハミルトン系の問題に対する数値解法として近年、種々なシンプレクティック法が提案されている。シンプレクティック法は保存系の性質を残した離散化として注目される点があるが、単振動のシミュレーションにおいて従来の非シンプレクティック法と比較して実用的であることを確認した[1-4]。そこでわれわれは、連成ハミルトン系の方程式にたいして用いてシンプレクティックおよび交互シンプレクティック数値解法を適用し数値誤差をエネルギーの保存の観点より比較研究した結果を報告する。

2. 連成ハミルトン系

ハミルトン系は、 R^{2d} 値関数 $x(t) = [q(t)^T, p(t)^T]^T$ ($q(t), p(t) \in R^d$) を未知変数とする方程式を考えるとき、 R^{2d} 上で定義された C^2 級関数 $H(q, p)$ を用いて、

$$(1) \quad \frac{dq_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \frac{dp_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \quad (i = 1, 2, \dots, d)$$

と表される。また、関数 $H(q, p)$ をハミルトニアンで、系のエネルギーを表す関数である。今回の研究では、このハミルトン系の問題に対してシンプレクティック・オイラー法、シュテルマー・ベルレの方法を適用し、数値解やフェーズのずれ、エネルギーの変化について調べる。扱う例題として、を用いる。初期値は $q_0 = 0$, $p_0 = \pi$ とし、ステップ幅は $h = 0.05$ とし、数値解を計算し比較する。

3. 交互シンプレクティック法

連成系に対するシンプレクティック・オイラー法とシュテルマー・ベルレの方法の式は、

シンプレクティック・オイラー法

$i = 1, \dots, M$ について

$$(2) \quad \begin{cases} q_{i,n+1} = q_{i,n} + hp_{i,n} \\ p_{i,n+1} = p_{i,n} - h\pi^2 q_{i,n+1} \end{cases}$$

シュテルマー・ベルレの方法

$i = 1, \dots, M$ について

$$(3) \quad \begin{cases} p_{i,n+\frac{1}{2}} = p_n - \frac{h}{2}\pi^2 q_{i,n} \\ q_{i,n+1} = q_{i,n} + hp_{i,n+\frac{1}{2}} \\ p_{i,n+1} = p_{i,n+\frac{1}{2}} - \frac{h}{2}\pi^2 q_{i,n+1} \end{cases}$$

となる. 交互シンプレクティックオイラー法は連成系の場合、

$$(4) \quad \text{F:} \begin{cases} q_{i,n+1} = q_{i,n} + hp_{i,n} \\ p_{i,n+1} = p_{i,n} - h\pi^2 q_{i,n+1} \end{cases} \quad \text{B:} \begin{cases} p_{i,n+1} = p_{i,n} - h\pi^2 q_{i,n} \\ q_{i,n+1} = q_{i,n} + hp_{i,n+1} \end{cases}$$

となる. 計算は $\text{F} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{F} \rightarrow \text{B} \cdots$ と進める. シュテルマー・ベルレ法の場合は

$$(5) \quad \text{F:} \begin{cases} p_{i,n+\frac{1}{2}} = p_n - \frac{h}{2}\pi^2 q_{i,n} \\ q_{i,n+1} = q_{i,n} + hp_{i,n+\frac{1}{2}} \\ p_{i,n+1} = p_{i,n+\frac{1}{2}} - \frac{h}{2}\pi^2 q_{i,n+1} \end{cases} \quad \text{B:} \begin{cases} q_{i,n+\frac{1}{2}} = p_n - \frac{h}{2} p_{i,n} \\ p_{i,n+1} = p_{i,n} + h\pi^2 q_{i,n+\frac{1}{2}} \\ q_{i,n+1} = q_{i,n+\frac{1}{2}} - \frac{h}{2} p_{i,n+1} \end{cases}$$

となる.

3. 数値解

方程式 (1) に対して得た数値解を示す.

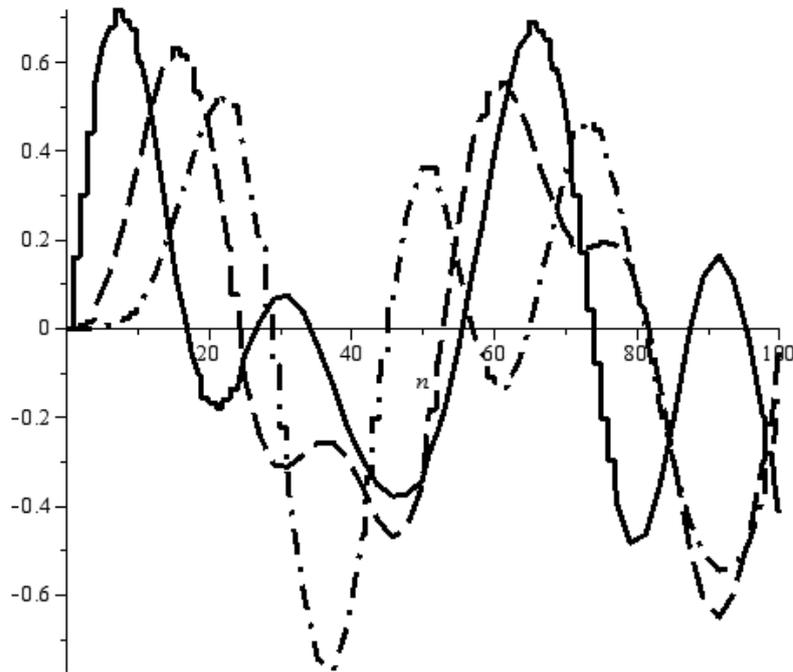


図 1 : $d=3$ の場合の交互シンプレクティック・オイラー法による数値解 (Q_1, Q_2, Q_3)

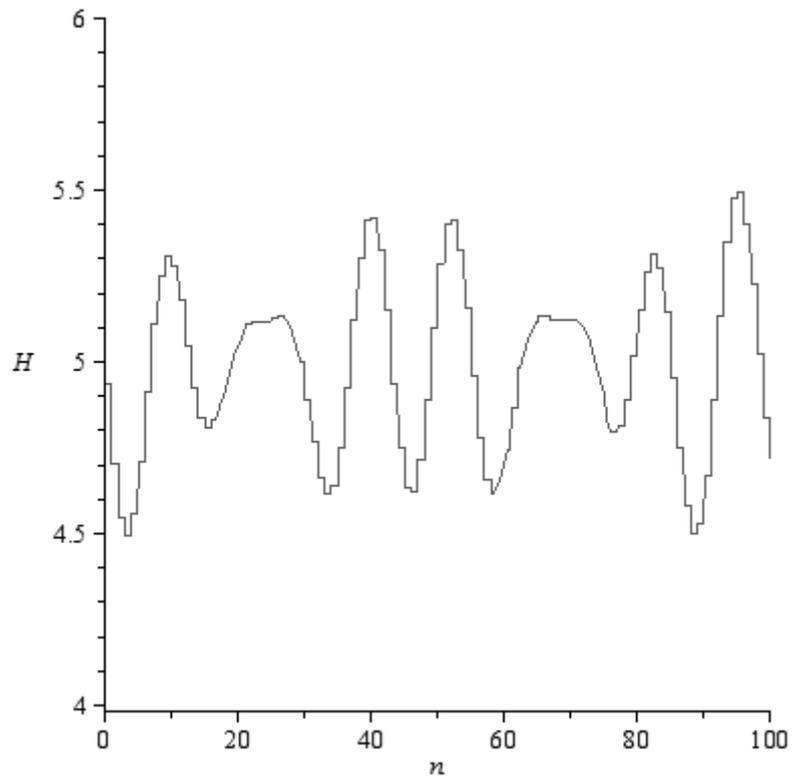


図2：シンプレクティック・オイラー法を用いた場合のハミルトニアン値 ($d=3$ の場合)

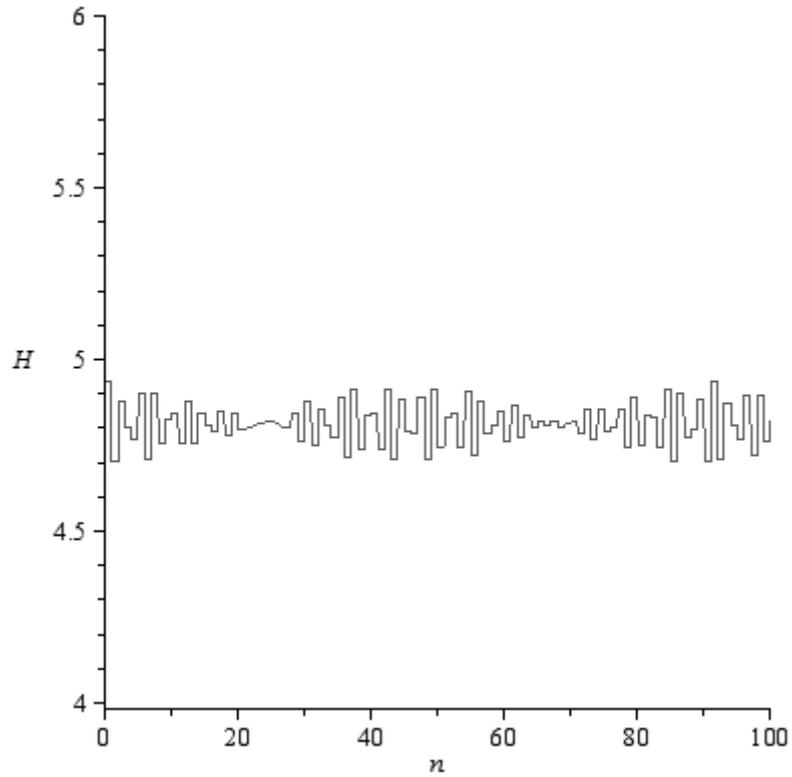


図3：交互シンプレクティック・オイラー法を用いた場合のハミルトニアン値 ($d=3$ の場合)

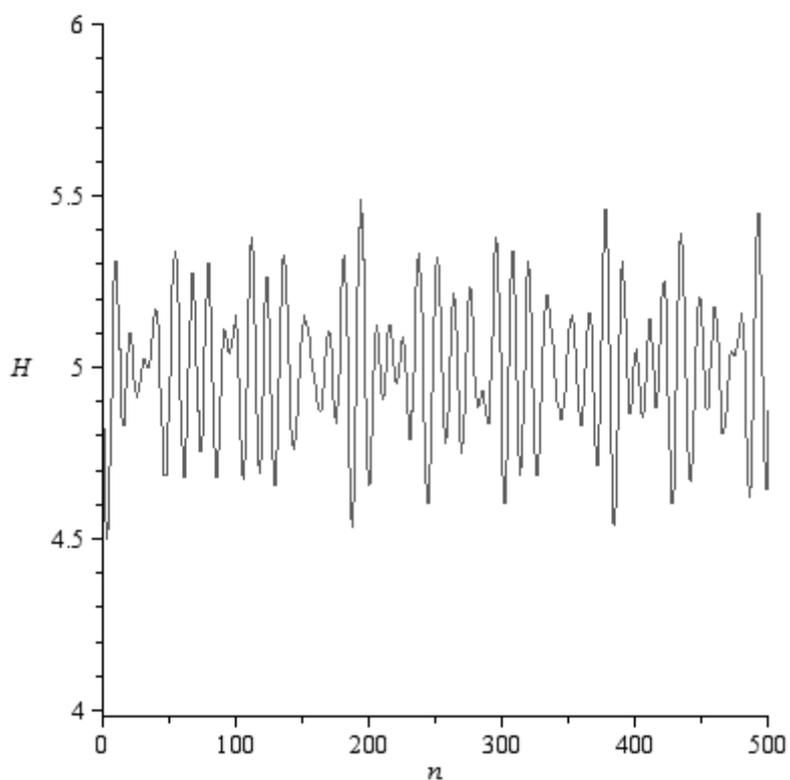


図4：シンプレクティック・オイラー法を用いた場合のハミルトニアン値 ($d=5$ の場合)

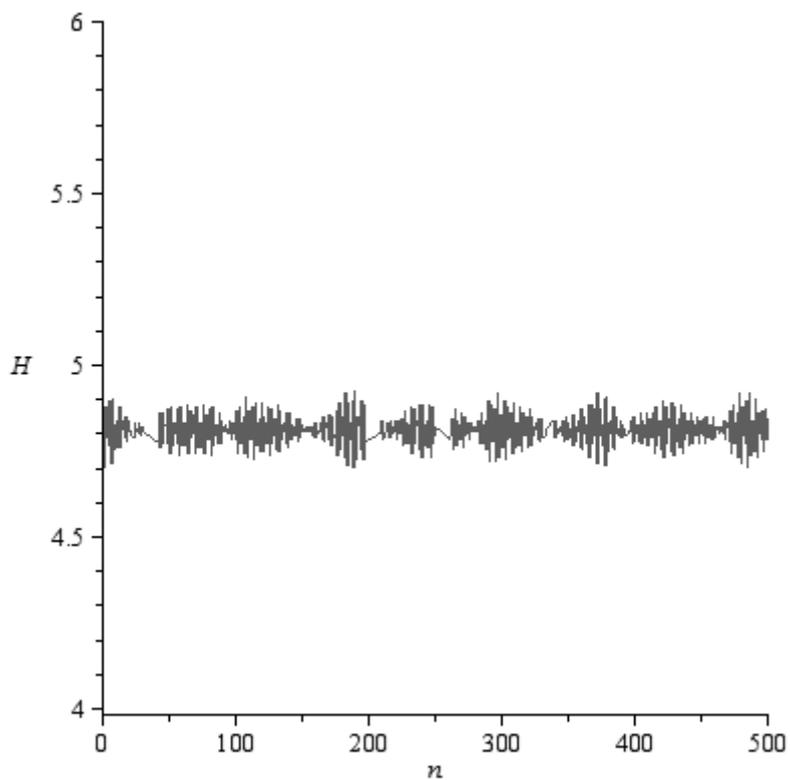


図5：交互シンプレクティック・オイラー法を用いた場合のハミルトニアン値 ($d=5$ の場合)

4. 考察

数値例より, [1, 2]で得られた単振動の場合と同様に, 交互シンプレクティック・オイラー法を用いることによりハミルトニアンの振れ幅を抑えることができることが分かった. シンプレクティック・オイラー法は d が大きな場合, その計算法のシンプルさから, よく用いられる方法の一つである. 動的分子軌道計算等の実際的な問題に適用することができることを検証することが今後の課題である.

参考文献

- [1] 古松 和治, 榊原 道夫, あるハミルトン系に対する数値解法の数値実験による比較, 情報処理センター研究報告 第 28 号 (2007.3)
- [2] 古松 和治, Hamilton系に対する数値解の研究, 岡山理科大学大学院総合情報研究科情報科学専攻修士論文(2008・3)
- [3] 榊原道夫, 古松和治:あるハミルトン系の長時間シミュレーションにおける誤差伝播についての数値実験, 岡山理科大学紀要 (2008)
- [4] 榊原道夫, 古松和治: 交互シンプレクティック・オイラー法によるハミルトン系の数値解, 日本応用数理学会環瀬戸内応用数理研究部会第 12 回シンポジウム講演予稿集, pp.50 (2008).