

情報処理センター
研 究 報 告

The Bulletin of the Information Processing Center

第 27 号

(2006.3)

岡山理科大学

Okayama University of Science

岡山市理大町 1 - 1

Tel (086) 252-3012 (直)

目 次

1. MCM-41メソ孔内における水分子のダイナミクスの表面状態による変化			
	化学科	高 原 周 一	
		前 田 直 樹	----- 1
		橘 高 茂 治	
2. エントロピーを用いたデマンド多次元0-1ナップザック問題の問題困難度の測定			
	情報処理センター	岩 崎 彰 典	----- 3
	大学院工学研究科	宇 田 浩 司	
3. 既存の教育用計算機を用いたクラスタコンピューティング環境の構築:			
		I. 起動に関する諸問題と解決	
	情報処理センター	畠 山 唯 達	
	情報処理センター	長 谷 輝 章	----- 9
	情報科学科	河 野 敏 行	
4. ダンプングなどを用いた逆問題における最適解の存在点について			
	情報処理センター	畠 山 唯 達	----- 17
5. ベクトルAitken δ^2 加速法			
	情報科学科	榊 原 道 夫	----- 21
	社会情報学科	黒 田 正 博	
6. 近似エルミート補間によるいくつかの数値積分公式			
	情報科学科	榊 原 道 夫	----- 27
7. Web科学教材作成ツール:Mamakari			
	情報科学科	榊 原 道 夫	
	情報科学科	大 西 莊 一	----- 31
	化学科	豊 田 真 司	
8. 加計グループ・サイバーキャンパスを支えるLMS「MOMOTARO」			
	大学院総合情報研究科情報科学専攻		
		大 西 莊 一	
		北 川 文 夫	
		榊 原 道 夫	
		河 野 敏 行	----- 37
		青 嶋 智	
		山 本 敏 弘	
	加計教育コンソーシアム	西 崎 書 彦	
	情報処理センター	田 坂 仁 昭	

MCM-41 メソ孔内における水分子のダイナミクスの表面状態による変化

(岡山理科大学理学部) 高原周一, 前田直樹, 橘高茂治

1. はじめに

我々はこれまでMCM-41メソ孔内の水について中性子準弾性散乱等を用いて研究してきた[1-3]. その結果, 室温付近ではバルク中の水分子の方が動きやすいが, 低温においてはメソ孔内の水分子の方が動きやすくなるという興味深い結果が得られている. これはメソ孔内で表面(特に表面水酸基)との相互作用により水素結合形成が妨げられていることを示唆している. 本研究では, 表面水酸基量によって水分子のダイナミクスにどのような影響が出るか調べた.

2. 実験

細孔径が同じ(3.4 nm)で表面水酸基量が異なる MCM-41(試料 A : 0.7 OH's/nm², 試料 B : 2.6 OH's/nm²)を岡山大学の黒田泰重氏から提供していただいた[4]. これらの MCM-41 に水を毛管凝縮もしくは表面吸着させた試料について, 日本原子力研究所の分光器 AGNES を用いて中性子準弾性散乱測定を行った.

3. 結果・考察

乾燥試料のスペクトルを差し引いて決定した水分子のスペクトル $I(Q, \omega)$ を以下のモデル関数でフィッティングした.

$$I(Q, \omega) = \left[A_1 \frac{1}{\pi} \frac{\Gamma_1}{\omega^2 + \Gamma_1^2} + A_2 \frac{1}{\pi} \frac{\Gamma_2}{\omega^2 + \Gamma_2^2} + B \right] \otimes I_R(Q, \omega)$$

ここで, Q は中性子の運動量変化, ω はエネルギー変化である. $I_R(Q, \omega)$ はバナジウムで測定した装置関数, \otimes は ω での畳み込みを表す. この関数を使って, Q の異なる 5 本のスペクトルを A_1 , A_2 の値を共通にして同時フィッティングした. フィッティングに使用したコンピュータは岡山理科大学情報処理センターに設置されているワークステーション IBM59H, 用いたプログラムは KIWI [5] であった. フィッティングで決定した Γ_1 , Γ_2 , A_1 , A_2 の値を使って, 装置関数による線幅の広がりを取り除いたスペクトルを描き, そのスペクトルの半値半幅の値 Γ を求めた.

図 1 に Γ の Q 依存性を示す. 装置関数の半値半幅 (図中の点線) より小さい Γ の値は信用できないので, それ以上の部分を比較すると, 試料 B より試料 A の方が Γ の値が小さいので, 試料 A 中の水分子の方が動きにくいということがわかる. これは, 表面水酸基量が少ない場合にメソ孔内の水が構造化することを示唆する結果であり, 興味深い.

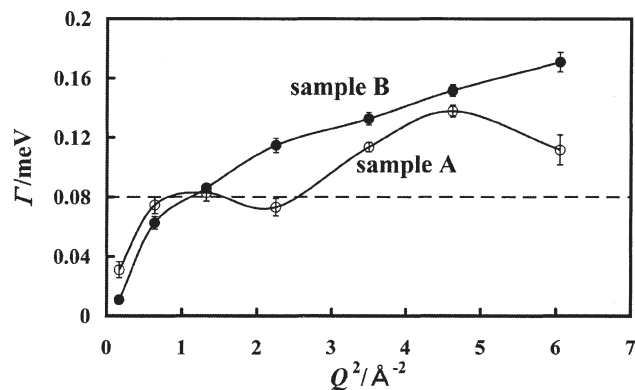


図 1 スペクトルの半値半幅 Γ の Q 依存性. ○ は試料 A, ● は試料 B の結果. 点線は装置関数の半値半幅を表す.

参考文献

- 1 S. Takahara et al., *J. Phys. Chem. B*, **109** (2005) 11231.
- 2 S. Takahara et al., *Adsorption* **11** (2005) 479.
- 3 S. Takahara et al., *J. Phys. Chem. B*, **103** (1999) 5814.
- 4 T. Mori et al., *Langmuire*, **18** (2002) 1595.
- 5 A fit program for quasi-elastic data analysis, "KIWI ver.1.01" made by N. Fanjat

エントロピーを用いたデマンド多次元0-1ナップザック問題の 問題困難度の測定

岩崎 彰典 岡山理科大学情報処理センター
宇田 浩司 岡山理科大学大学院工学研究科

あらまし

CappaneraとTrubianは多次元0-1ナップザック問題の拡張としてデマンド制約を加えた問題を提案している。デマンド制約は、制約関数値がある制約許容量より大きくなければならないという制約条件である。彼らは、通常の制約条件にデマンド制約が付加されたデマンド多次元0-1ナップザック問題の実行可能解を見つけることは困難であることを示している。本論文ではデマンド多次元0-1ナップザック問題のエントロピーを求めデマンド制約の制約許容量との関係を調べ、エントロピーと厳密解を求める時間との間には強い相関があり、さらにデマンド多次元0-1ナップザック問題は、制約許容量によって問題の困難さが大きく変動することを示す。

1 まえがき

制約条件が1つの0-1ナップザック問題は弱NP-困難であり、多くの有効な解法が開発されてきた[1]。複数の制約条件を持つ多次元0-1ナップザック問題は現在、動的計画法、分枝限定法などの厳密解法や遺伝的アルゴリズムなどのヒューリスティックな解法が研究され、そのための難しいテスト問題がBeasleyによって公開されている[2]。また、いろいろな問題や解法がFrevilleによって調査されている[3]。そのサーベイ論文で興味深い多次元0-1ナップザック問題の拡張として、Cappaneraらのデマンド制約を加えた多次元0-1ナップザック問題が紹介されている[4]。デマンド制約は、通常の'小さいか等しい'という制約ではなく、'大きいか等しい'という制約条件である。通常の多次元ナップザック問題にデマンド制約を加えた問題は、デマンド多次元0-1ナップザック問題と呼ばれている。この問題は多くの実際的な問題、例えば迷惑施設配置問題などに応用できる[5]。しかし、デマンド多次元0-1ナップザック問題は単調性がなく、市販のソフトウェアでこの問題に適用できるものはない。Cappaneraらはデマンド多次元0-1ナップザック問題の実行可能解の特定は困難であるばかりでなく、例えば部分和问题はデマンド多次元0-1ナップザック問題として解くことができるが、その問題は実際'nasty'な問題であるとも指摘している[4]。

通常の多次元0-1ナップザック問題は、仲川が改良代理制約法(ISC)を提案し、大規模な問題が実用的な時間で厳密に解くことができるようになった[6]。この方法はデマンド多次元0-1ナップザック問題に対しても適用することができる。さらに、この手法を利用してエントロピーを導入し、問題困難度を推定する方法を提案している[7]。この問題困難度推定法は、近似解を求めることでエントロピーを求めることができるため、要する時間は多項式オーダーである。

通常の多次元ナップザック問題では実行可能解の存在は自明に仮定できるが、デマンド制約を含む場合は通常の制約とデマンド制約の兼ね合いで実行可能解の存在は自明ではない。実際にISCを用いてデマンド多次元0-1ナップザック問題を厳密に解くことを試みるとデマンド制約の制約許容量の変化に対して、解を求める時間は大きく変化し、ある制約許容量では実用的な時間で解を求めることができず、それより大きいか小さいときには解が求まるといった挙動を示す。

本論文では、デマンド多次元0-1ナップザック問題のエントロピーを測定し、厳密に解くのに要する時間との相関を調べる。その結果からデマンド多次元0-1ナップザック問題と通常の0-1ナップザック問題の困難度を調べその違いを考察する。

2 デマンド多次元0-1ナップザック問題

デマンド多次元0-1ナップザック問題は以下のように定式化される.

$$\text{maximize } f(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

$$\text{subject to } g_i(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

$$g_i(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i \geq b_i, \quad (i = m+1, m+2, \dots, m+q) \quad (3)$$

$$x_j = \{0, 1\}, \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

ただし, $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $b_i > 0$ ($i = 1, 2, \dots, m+q$), $a_{ij} \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, m+q, j = 1, 2, \dots, n$). また, $\sum_{j=1}^n a_{ij} > b_i$ ($i = 1, 2, \dots, m+q$), $\max_j \{a_{ij}\} \leq b_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$), $\min_j \{a_{ij}\} < b_i$ ($i = m+1, m+2, \dots, m+q$) を仮定する.

式(2)の制約条件をナップザック制約, 式(3)の制約条件をデマンド制約と呼ぶ.

ナップザック制約の制約許容量が十分大きく, デマンド制約の制約許容量が十分小さい時はデマンド制約は有効でなく, ナップザック制約の制約許容量が十分小さく, デマンド制約の制約許容量が十分大きい時は実行可能領域がない.

3 エントロピーを用いた問題困難度の推定法

与えられた問題に対し, 変数を0か1に固定したときに上界値の大きい方が最適解になる確率を p_j とする. そのとき, 固定した変数が最適解として0または1をとるエントロピー(平均情報量) h_j を,

$$h_j = -p_j \log_2 p_j - (1-p_j) \log_2 (1-p_j) \quad (5)$$

と定義する. エントロピーは確率が0.5に近いほど大きくなり, 0か1に近いほど小さくなる. エントロピーの大きい変数ほど値の予測が困難であり, 逆にエントロピーの小さい変数は値の予測が容易である. そこで, 問題の困難度を,

$$H = \sum_{j=1}^n h_j \quad (6)$$

と表し, 問題困難度エントロピーと呼ぶ.

確率 p_j は実験によって統計的に求める必要がある. そのために変数 x_j を0に固定したときの upper bound を $f^{UB}[P : x_j = 0]$, 変数 x_j を1に固定したときの upper bound を $f^{UB}[P : x_j = 1]$ とし,

$$d_j = |f^{UB}[P : x_j = 0] - f^{UB}[P : x_j = 1]| \quad (7)$$

とする. 問題の上界値, 準最適値をそれぞれ f^{UB}, f^{NEAR} とし, 上界値差,

$$\delta_j = \frac{d_j}{f^{UB} - f^{NEAR}} \quad (8)$$

を導入する. ここで $\delta_j \leq 1$ である. δ_j を $\delta_j + \Delta$ と区分しておく. 計算機実験により変数を固定したときに, その上界値差が $\delta_j + \Delta$ 内に入る変数の数を r とし, そのうち上界値の大きい方が最適解になった数を s とすれば, 確率 p_j は s/r で与えられる. 確率 p_j を求めるためには, 複数の問題を厳密に解いて最適解を求める必要がある.

δ_j は問題を線形緩和することによって高速に求めることができるので、あらかじめ実験的にサンプルとなる問題で δ_j に対する p_j の確率分布を調べておけば、未知の問題の困難度を推定することができる。

本論文では、 δ_j と p_j の確率分布として仲川らの結果[7]の表1を用いて、デマンド制約0-1ナップザックへもこの表が適用できるかを調べる。

4 計算機実験

使った計算機はPentium 3.0GHz, メモリ1Gである。

テスト問題はBeasleyによって公開されているOR Library[2]の中から、Chuらの論文[8]の中で取り扱われた5制約500変数の問題30問を元に、制約条件の一部をデマンド制約に置き換えた問題をテスト問題として使用した。

制約許容量 b_i は次のtightness ratio α_i から求める。

$$b_i = \alpha_i \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (9)$$

Chuらの問題は#0~#9は $\alpha_i = 0.25 \ i = 1, 2, \dots, 5$, #10~#19は $\alpha_i = 0.5 \ i = 1, 2, \dots, 5$, #20~#29は $\alpha_i = 0.75 \ i = 1, 2, \dots, 5$ である。

デマンド多次元0-1ナップザック問題の α_i とエントロピーの関係を調べるためテスト問題から3問#3,#12,#27を選び、最初の4制約は $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ を元の問題に固定し、5番目の制約をデマンド制約へ変更し α_5 を変化させた。この結果を図1に示す。Tightness ratio α_5 が通常のナップザック制約に近くデマンド制約は有効でないときは4制約のナップザック問題と同じエントロピーである。Tightness ratio α_5 を大きくし、デマンド制約が有効になるとエントロピーが大きく増減し始める。さらにtightness ratio α_5 を大きくすると実行可能解はなくなる。

比較のため、4つのナップザック制約のtightness ratio $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4$ のみを変化させたときのエントロピーの変化を図2に示す。通常のナップザック制約のみでは激しいエントロピーの変化はみられない。

激しくエントロピーが変化してしている時のエントロピーと計算時間との関係を図3に示す。計算時間はエントロピーに対し指数関数的に増加し相関係数は $R^2 = 0.91$ と強い相関がある。

問題の困難さを測る尺度としてKarwanら[9]のPGC(Percent Gap Closure value):

$$PGC = \frac{f^{UB} - f^{SD}}{f^{UB} - f^P} \times 100 \quad (10)$$

がある。ここで f^{UB} は上界値、 f^{SD} は問題Pの代理双対問題の最適値、 f^P は問題Pの最適値である。比較のためPGCと計算時間の相関を図4に示す。PGCと計算時間にはほとんど相関はみられない。

デマンド制約を含む問題の中にはエントロピーが52の問題があり、この問題は厳密解を求めるのに数十日を必要とされることが予想できる。

5 むすび

エントロピーと問題の困難度には強い相関があることがわかった。デマンド多次元0-1ナップザック問題は、デマンド制約の制約許容量のわずかな変化によって問題の困難度が非常に大きく変動する。エントロピーは多項式オーダーの時間で求めることができるため、難しい問題の厳密解を求める時間をあらかじめ推定することができる。

参考文献

- [1] S. Martello and P. Toth, "Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations," John Wiley & Sons, 1990.

- [2] J. Beasley, "OR Library," Available at URL <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html>, 1995.
- [3] A. Freville, "The multidimensional 0 – 1 knapsack problem: An overview," *European Journal of Operational Research*, Vol.155, pp.1–21, 2004.
- [4] P. Cappanera and M. Trubian, "A local search based heuristic for the demand constrained multidimensional knapsack problem," Working paper presented at Congress Adaptive Memory and Evolution: Tabu Search and Scatter Search, Oxford, USA, March 2004.
- [5] F. Plastria, "Static Competitive Facility Location: an Overview of Optimization Approaches," *European Journal of Operational Research*, Vol.129, pp.461–470, 2001.
- [6] Y. Nakagawa, "An improved surrogate constraints method for separable nonlinear integer programming," *Journal of Operations Research Society of Japan*, Vol.46, No.2, pp.145–163, 2003
- [7] 仲川勇二, "多次元非線形0 – 1 ナップサック問題のためのエントロピーを用いた問題困難度推定法," *信学論 (A)*, Vol.J87-A, No.3, pp.406–408, March 2004.
- [8] P.C. Chu and J.E.Beasley, "A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem," *Journal of Heuristics*, Vol.4, pp.63–86, 1998.
- [9] M.H. Karwan, R.L. Rardin and S. Sarin, "A new surrogate dual multiplier search procedure," *Naval Research Logistics*, Vol.34, pp.431–450, 1987

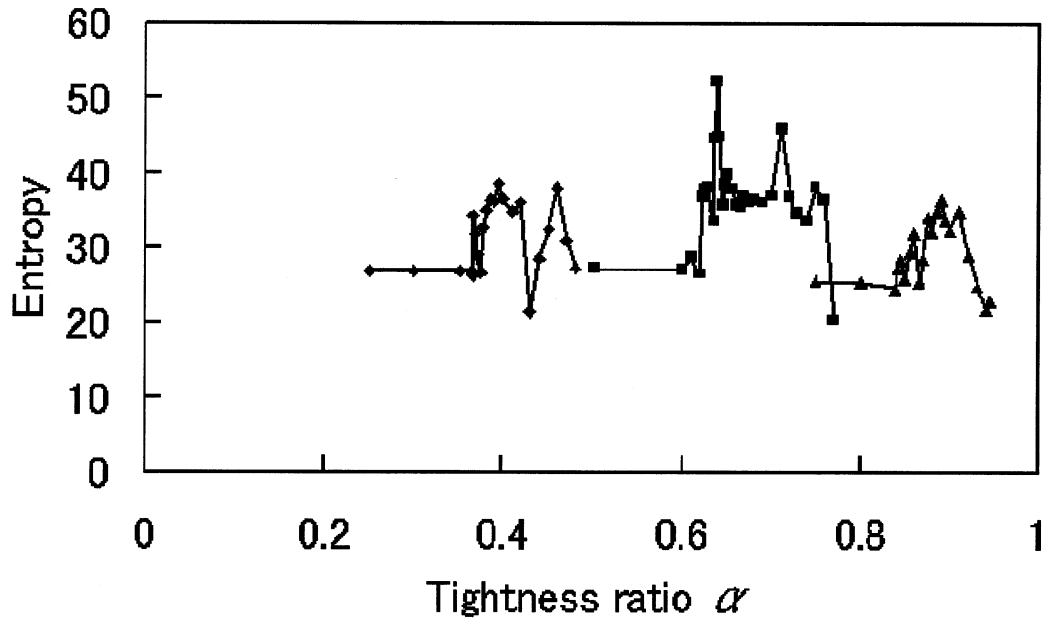


図 1: デンマンド制約の許容量とエントロピー
 Fig.1 Available amount of the demand constraints and difficulty entropy

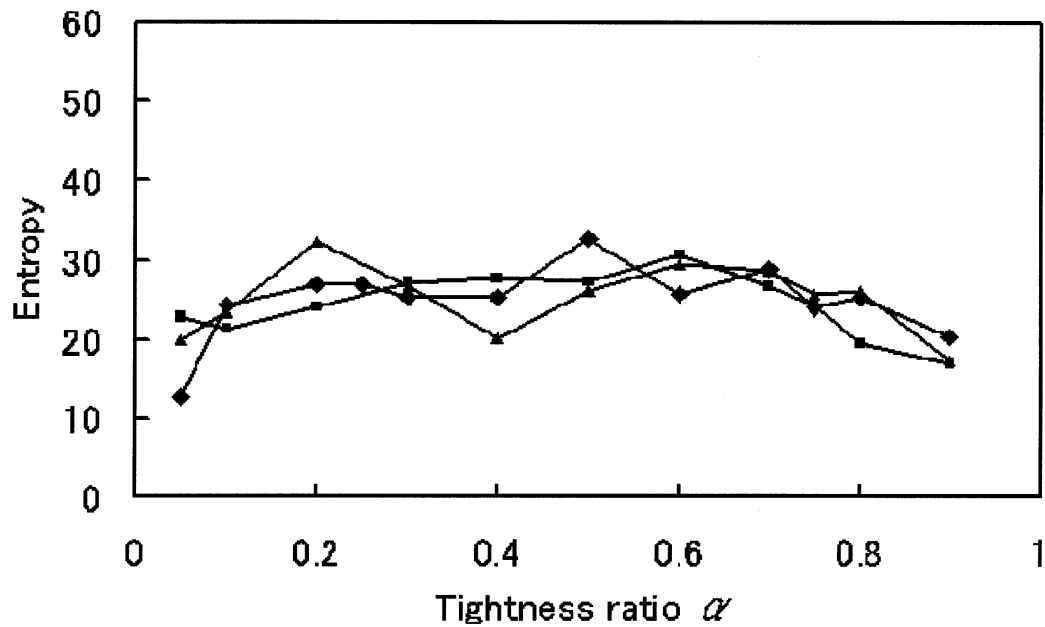


図 2: ナップザック制約の許容量とエントロピー
 Fig.2 Available amount of the knapsack constraints and difficulty entropy

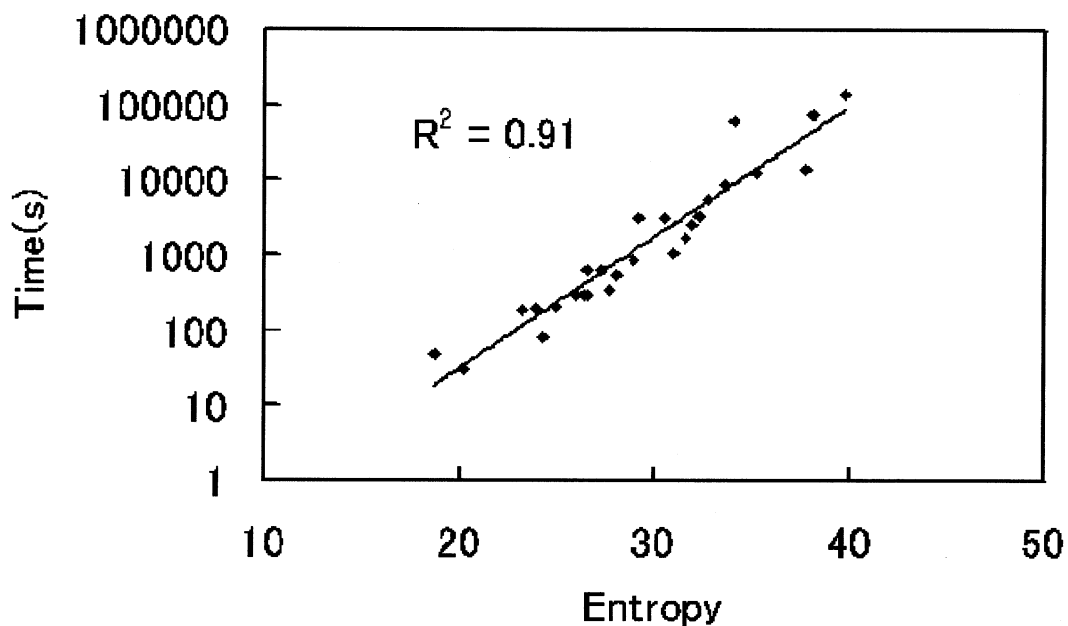


図3: エントロピーと厳密解を求めるために必要な時間
Fig.4 Difficulty entropy and computation time(s).

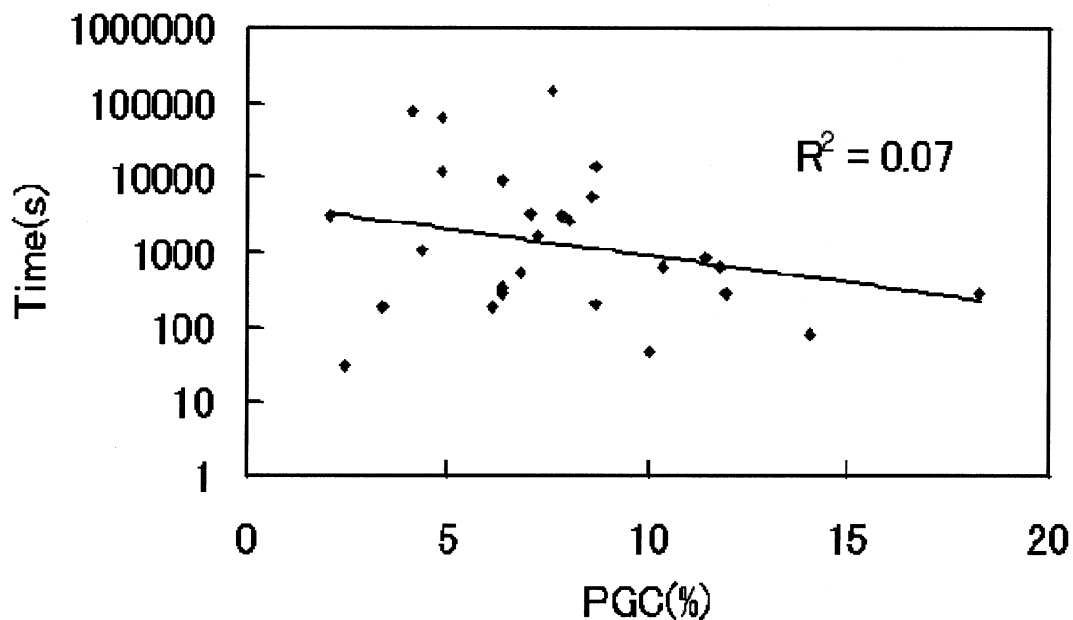


図4: PGC 値と厳密解を求めるために必要な時間
Fig.4 PCG value and computation time(s).

既存の教育用計算機を用いた クラスタコンピューティング環境の構築:

I. 起動に関する諸問題と解決

Construction of cluster computing system with educational PCs:

I. Problems and solutions within diskless boot

*島山唯達 長谷輝章

(岡山理科大学情報処理センター)

河野敏行

(岡山理科大学総合情報学部情報科学科)

*T. Hatakeyama and T. Nagatani

(Information Processing Center, Okayama University of Science, Ridai-cho, Okayama 700-0005, Japan)

T. Kohno

(Department of Information Science, Okayama University of Science)

Abstract:

We have constructed a PC cluster system from the educational PCs in our computer rooms in order to calculate scientific works with parallel computing. Contents in the HDD of the educational PCs are concretely fixed (with a recover system in each boot), so that we have to use diskless client system and all file-systems should be mounted from the NFS server. We had some problems and overcame them. The automatic boot and shutdown of the Linux system are succeed for 112 PCs with a server machine.

1. はじめに:

いまどきこの教育機関でもやっていることであろうが、教育用 PC (またはそれに近いコンピュータ) でのグリッド計算機 (クラスタ) が花盛りである。最近では高校でも Knoppix+クラスタリングなどということをしていたり[1]する。

このように、グリッド計算機を組むこと自体に特段の目新しさはない。しかし、本学にも夜間使用されていない教育用 PC が数百台あり、これらをそのままにしておくのはいかにも勿体無い。昔のように小さな大学でも大型計算機 (スーパーコンピュータ) を自前で持つべきだと言うスタンスは時代にそぐわないし、そのような予算もない。そこでせめて、これらの PC を利用して簡単なグリッドを構築し、ネットワークがボトルネックにならないような計算をしたい、というのが本案件の動機である。

また、機種ごとに使い勝手が大きく異なる大型計算機などと比べると、PC クラスタは x86 (や x86-64) アーキテクチャが大きく変更されない限り (或いは、Linux などのファイルシステムが大きく変更されたりしない限り)、中期的な将来にわたって大きく変わらないだろうというメリットもある。

以上のような理由で、将来的には本格的な研究用途に使用することを目標として、岡山理科大学情報処理センター内にある教育用 PC を用いてクラスタシステムを構築し、並列計算性能を評価することにした。本年度の計画では、クラスタシステムを組んでブートさせることが主目的である。というのも教育用 PC は基礎リテラシー教育用途に使用するためにさまざまなシステムを組み合わせているので、そのままクラスタに転用することが困難である。

2. 現状の教育用計算機の構成:

岡山理科大学情報処理センターには、約 500 台のパソコンが設置され、1~3 年生を中心とする全学共通の計算機教育に利用されている[2]。稼働時間は午前 9 時から午後 8 時半までで、その間の講義のみならず、講義の入っていない時間帯も学生が自由に使用できるようになっている。

すべての教育用パソコンで使用されている OS は Windows XP のみで、ハードディスク内にインストールされた上、他のソフトウェア環境とともに、起動時にリフレッシュされてユーザに提供される[3]。つまり、学生はどんなに環境を汚しても (極端な話、たとえ使用中にコンピュータウイルスに感染しても)、再起動すれば元のとおりに戻るようになっている。

この機能は不特定多数の学生が乱暴に利用する分には申し分ない構成になっているが、今回の実験のようなことをするにはちょっと問題がある。HDD のパーティションは上記用途にのみ使えるように切っているため、新規に Linux クラスタ用のパーティションを設定しデュアルブートすることはできない。

3. クラスタコンピュータの構成:

3.1 制約

本センターにある数百台の教育用パソコンをつないで、計算用グリッドを構成するためには、次のような制約がある。

各マシンのハードディスクを利用することができない

- 運用可能な時間は午後 9 時から午前 9 時の間
- ネットワーク構成を大きく変更することはできない

また、

- 今年度(17年度)の予算はゼロ

とい大きな足枷もある。これらの制約を考慮して、今回の実験では以下のような基本的ポリシーを立てた。

- ディスクレスサーバとして起動する
- OS は Linux にする
- 数値計算環境はすべて、フリーのものを利用する

また、はじめに 10 台の構成でブートと終了を確認したあと、112 台の起動まで確認することにした。

3.2 ハードウェア構成

クライアント用 PC (今の所最大 112 台 = Dell Optiplex GX240)

- CPU Pentium 4 2.0GHz (NorthWood コア)
- RAM 512MB (DDR333)
- HDD 40GB (今回はまったく使用しない)
- LAN オンボード 100Base-TX (3Com 3C920 チップ)
- HDD 内の OS (Windows XP Professional SP2) では各マシンにそれぞれ固定 IP アドレスを割り当てている。

サーバ

- PC とまったく同一構成、ただし HDD には Linux サーバとクライアント用のイメージを別ディレクトリに入れる。

ネットワーク

- スイッチ (L2): Cisco Catalyst 4006 (CatOS ver. 6.3(5))
スイッチの設定は必要なポート VLAN を切っている以外、特に何もしていない。これがあとで (P1) という問題を産むことになる。
- ケーブル: カテゴリ 5e ケーブル (100Base-TX で使用)

3.3. クラスタ構成

具体的に以下の技術を使用することにした。

起動:

- OS: Fedora Core 4 [4] (これはどの Linux ディストリビューションでもいっしょだろう)
- Wakeup On LAN (ビッグパケットを送る Wakeonlan 0.41 [5] を利用),
- DHCP (dhcpd)
- tftpboot
- PXELinux [6]
- ファイルマウント: NFS
- コンパイル + 並列化: gcc (v3.1) + mpich

起動方法:

起動の流れは以下のとおりである。

(B1) 外部 (サーバ側) から Wake On LAN (WOL) を使用して、各クライアントに起動命令を送り込む。

- (B2) 各 PC は起動時に DHCP を見に行く。
- (B3) サーバでは DHCP サーバを起動しており、各 PC に IP アドレス (MAC アドレスで固定)、ブロードキャストアドレスなどの各種ネットワーク情報を与える。ただし、各マシンには特定の IP アドレスが付与されるように、DHCP サーバはハードウェアアドレス (MAC アドレス) で与える情報を変えるようにする。また、与えられる IP アドレスは、各 PC のハードディスク内の Windows XP で設定しているものと同一にする。
- (B4) 同時に PXELinux のブートエントリ (ルートのパス) に関する情報を与える。
- (B5) PXELinux が動いて、起動するカーネルを tftp 経由でサーバから持ってくる。
- (B6) クライアントの OS を起動。
- (B7) 起動中に各クライアントの / ディレクトリは共通のものをマウント。ただしこの部分はサーバ本体の / ディレクトリとは異なる (マウントさせる / は /tftpboot/Linux においておく)。
- (B8) サーバから共通の作業領域をマウントする。

なお、

- ユーザが実際に書き込む領域 (/home または /work) は、別途マウントする。
- 各クライアントごとに独自書き込みのある /tmp, /var はクライアントに RAM disk を作成して、そこにマウントする。起動時に /var ディレクトリに内になければいけないファイルは、サーバの /tftpboot/Linux/var から持ってきて、RAM disk 上に展開する)。

上記のような手順を踏むために、各 PC の BIOS について以下の2点の変更を加えた。

- 起動していないときも WakeOnLan の待機状態
- WOL で起動した場合、DHCP サーバを探す (→PXE ブートへ)

PC (クライアント) について、他の設定は一切手を加えていない。クライアント PC の BIOS は OptiPlex GX240 を導入した当時のバージョン「A05」のままであるが、WOL で起動したときとそうでないときの標準ブート方法を変えることができた。

4. 実際の作業と直面した各種問題点

4.1 10 台のディスクレスクライアントに対する作業

実作業は、2005 年 8 月より、主に長期休暇などの講義がなくて学生が少ない時間帯を使用して行われた。はじめに、10 台の端末がある小さな端末室 (講義に使われず、常に学生に解放されている部屋) を利用して行った。ネットワークブート、ディスクレスクライアントの利用、および起動時の NIC の認識のために、附録 3 のようにカーネルの再構築をした。その後、前節のようにブートさせたが、以下の問題が明らかになった。

問題点:

- (P1) ネットワークに関すること
Catalyst 4000 (L2) 配下につないだ場合、DHCP サーバとうまく通信ができない。別のスイッチ (ヤススイッチングハブ) の下に接続すると問題なく作動する。
- (P2) PC の起動に関すること
3C920 チップを Linux で使用した後でシャットダウンをすると、WOL 待ち状態にならない。つまり、完全に眠ってしまう (LED がつかない)。これは大変重大な問題である。

この段階で、これら 2 つの問題は、

- (P1) → (P1) スイッチをもう一段 (Catalyst 4006 と PC の間に) 挿むこと
- (P2) → (P2) Linux をシャットダウンした後、手動で Windows を起動してからもう一度シャットダウンすることで暫定的に対処し、次の段階に進んだ。なお、クライアント PC が数台しかない段階で、一度 MPICH の動作を確認している。

4.2 112 台のディスクレスクライアントに対する作業

上に挙げたような困難はあったものの、基本的に PXELinux を用いた起動には成功した。次に PC クライアントの台数を増やして起動する試験をした。なお、サーバはまだ 1 台のみのままである。結局、問題 (P1) は以下のようなことが原因であることがわかった。

- (P1') Catalyst 4000 の標準設定では、DHCP discover など DHCP に関するフレーム (L2 ブロードキャスト) がポートからフォワード (フラッディング) されていないようである (他の Cisco 製スイッチは標準でフラッディングする)。よって次のような設定を加える必要がある。
- (P2) について、どうやらその原因は Linux カーネルに付属の 3C905 チップ用のドライバに存在するバグのようである。2.2 カーネルに対するパッチはあったが、現在使っている 2.6 カーネルには存在しない。ドライバの問題

部分がわかれば改変して使用したいが、さしあたり

- (1) 使用終了時にサーバの dhcpd を停止する
- (2) クライアントの Linux を rsh で再起動(reboot)
- (3) クライアントPC の BIOS の設定のところで書いたとおり、起動時にもう一度 DHCP サーバを探しに行くが、その応答がないので、タイムアウト(30sec)の後に HDD から Windows が起動する
- (4) Windows について外部からシャットダウンさせる[7]

という手順で WOL による起動待ちの形で停止するように対処した。

5. 今後について

たった1台のサーバによって、112台のクライアントマシンの起動と動作が確認できた。しかし、起動は非常に遅く、また動作も実用するには非常に遅い。2006年度には、数台の起動用+NFSマウント用のサーバを導入する予定である。それによって起動とマウントがかなり早く快適にしたい(1サーバで40~50台のクライアントを面倒みるようにする)。また、並列計算環境を整えて実運用に近づけたいと計画している。

謝辞

Catalyst 4006 スイッチの設定変更に関して、実習室の保守をしている日本システム開発株式会社の木下氏には大変お世話になりました。

Notes & References

- [1] 広島県立広島国泰寺高校科学部物理班 (<http://kagakububuturi.hp.infoseek.co.jp/>)
- [2] 6つの実習室(72~112台)と3つの端末室(各10台)に設置されている。
(<http://www.center.ous.ac.jp/compannai/kyoikusv/>)
- [3] 起動時におけるハードディスクの復元は、NetEasyRecovery というソフトで実現されている。
- [4] Fedora JP Project (<http://fedora.jp/>)
- [5] Wakeonlan 0.41 by Jose Pedro Oliveira (<http://gsd.di.uminho.pt/jpo/software/wakeonlan/>)
- [6] PXELINUX (<http://syslinux.zytor.com/pxe.php>)
- [7] NetOpSchool という端末監視ソフトを使用 (<http://www.d-tec.jp/content/blogcategory/17/27/>)
- [8] ブートに関しては、「Diskless Linux by PXELinux or GRUB (<http://vision.kuee.kyoto-u.ac.jp/~nob/doc/diskless/diskless.html>)」を参考にした。

附録:作業手順

ディレクトリ構成(サーバ)

/tftpboot/...	
/tftpboot/Linux/	クライアント用の / ファイルシステム
/tftpboot/pxelinux.cfg/	PXE を使ったブートの設定
/tftpboot/wol	WOL 経由でクライアントを起動するためのディレクトリ
/tftpboot/client_shutdown/	クライアントをシャットダウンするためのディレクトリ

※以下に具体的に作業した手順を記す。デフォルト設定から変更していない部分は省略する。また、サーバ・クライアントはすべて 192.168.1.0/24 内の IP アドレスを付与した。

- クライアントは 192.168.1.1-112
- 起動サーバ(今回は NFS サーバを兼ねる、DNS サーバも起動しているものとする)は 192.168.0.200
- デフォルトゲートウェイは 192.168.0.254 とした。これらは実際の IP アドレスとは異なる。

1 サーバへの親 OS (Fedora Core 4) のインストール

[5]のサイトなどを参照のこと。たとえば、

日経 BP による、Fedore Core4 のインストール解説

<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20060301/231406/>

同サイトによる、Fedore Core6 のインストール解説

<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20061101/252399/>

など。

2 クライアント(子機)用の領域とイメージの作成

2.1 イメージ(/ ファイルシステム)を/tftpboot/Linux へコピー(もしくは、etc, var などのクライアントに書き込みされる部分はあとでRAM ディスクをマウントするので、/ 全体のシンボリックリンクを張ってもよいかも)。

2.2 クライアントの RAM ディスクに受け渡すディレクトリの整理(→8.)

2.2.1 クライアントのルート /tftpboot/Linux で、

```
#ln -s tmp /ram/tmp (あとで tmpfs の/ram/tmp を /tmp として使用する)
```

2.2.2 クライアントのルート /tftpboot/Linux で、

```
#mv var var.old
```

さらに、var.old の中身を整理する

- そっくり残さなければならないのは、spool
- ディレクトリ構成を残す(ファイルは後書きするので不要)必要があるのは、log, lock, run, lib
- ディレクトリが残すとよいのは、local, tmp (tmp は chmod 1777 しておく)。

不安であれば、上記7 ディレクトリをそのまま残して、他は消す。

さらに、/tftpboot/Linux で、

```
#mkdir var
```

3 クライアント用カーネル再構築(version 2.6.11)

config で、以下の点を Yes に変更する

- Device Drivers Networking support TCP/IP networking
- Filesystem Network Filesystem NFS filesystem support
root file system on NFS
- Device Drivers Networking support Network device Support Ethernet (10 or 100)
3Com card = 3C590/3C900

作成した、vmlinuz, initrd, System.map は、/tftpboot/ に vmlinuz-nfs, initrd-nfs, System.map としておいておく。

4 サーバの各種設定

4.1 PXELinux

PXELinux (pxelinux.0)は多くの Linux ディストリビューションで、syslinux というパッケージに含まれている。Fedora Core の場合には、/usr/lib/syslinux/にある。標準の syslinux パッケージをインストールできない場合は、kernel.org (<http://www.kernel.org/pub/linux/utils/boot/syslinux/>)にある、syslinux-?.?.tar.gz などをダウンロードしてきて、解凍する。/usr/lib/syslinux/ (もしくは解凍したディレクトリ)中にある pxelinux.0 を/tftpboot/ にコピーする(あるいはシンボリックリンクを張る)。また、ディレクトリ /tftpboot/pxelinux.cfg を作成してから、中に default というファイル、を置く。その中身は、

```
DEFAULT linux
LABEL linux
    KERNEL vmlinuz-nfs
    APPEND root=/dev/nfs nfsroot=192.168.1.200:/tftpboot/Linux ip=dhcp
    IPAPPEND 0
```

4.2 DHCP (/etc/dhcpd.conf の設定、主な変更点のみ)

```
allow booting;
allow bootp;
subset 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0 {
    option routers 192.168.1.254;
    option subnet-mask 255.255.255.0;
    option domain-name "std.ous.ac.jp";
    option domain-name-servers 192.168.1.200; #DNS サーバ名
    range dynamic-bootp 192.168.1.1 192.168.1.112;
    default-lease-time 21600;
    max-lease-time 43200;
```

```

option root-path "/tftpboot";
ilename "pxelinux.0"
option venvo-rclass-identifier "PXEClient";
option vendor-encapsulated-options
09:0f:80:00:0c:4e:65:74:77:6f:72:6b:20:52:6f:6f:74:0a:07:00:50:72:6f:6d:70:74:06:
01:02:08:03:80:00:00:47:04:80:00:00:00:ff;
host CNODE001 {
hardware ethernet xx:xx:xx:xx:xx:xx;    #クライアントのMACアド
レス
fixed-address 192.168.1.1;
option host-name "cnode001";
}

```

...

4.3 tftpboot (/etc/xinetd.d/tftp の設定、変更点のみ)

```

disable = no
server_args = -c -s /tftpboot

```

(必要に応じて only_from など)

4.4 NFS (/etc/exports の設定)

```

/tftpboot          192.168.1.1(rw, sync, no_root_squash)
/tftpboot/Linux   192.168.1.1(rw, sync, no_root_squash)
/home              192.168.1.1(rw, sync, no_root_squash)
/usr/local         192.168.1.1(rw, sync, no_root_squash)

```

...

5 サーバで動かすサービスの設定

/etc/rc(3,5)d で、S にすべきサービスは、

- network, xinetd
- NFS サービス関係 (portmap, nfs, nfslock, netfs, rpcgssd)
- dhcpd
- sshd (外部からの管理)
- あとは適宜 (sysstat, kudzu, local など)

6 クライアントの起動順序の変更 (BIOS)

DELL Optiplex GX240 の BIOS (カスタマイズされていて、メーカーなど不明、バージョン A05) の変更箇所は、

- [Boot Sequence]
 1. Hard-Disk Device C:
 2. Diskette Drive
 3. Integrated NIC
- [Integrated Devices - Network Interface Controller]
 - On w/ PXE
- [Remote wake up]
 - On w/ Boot to NIC

このようにすると、

- 電源ボタンから起動させたとき (講義などで学生が使うとき) は、ハードディスクから Windows Xp が立ち上がる。
- WakeOnLan から立ち上げると、PXE が動く → DHCP クライアントと Linux の起動

を両立させることができる。

7 クライアントの設定 (/tftpboot/Linux/etc)

7.1 NFS 関係 (fstab)

```

192.168.1.200:/tftpboot/Linux /          nfs defaults 0 0
/dev/devpts /dev/pts devptf gid=5,mode=620 0 0
/dev/proc /proc proc defaults 0 0
192.168.1.200:/usr/local /usr/local nfs defaults 0 0

```



```
192.168.1.200:/home /home nfs defaults 0 0
```

7.2 外部からの rsh 接続=MPI, シャットダウン用。もちろん ssh にしてもよい (xinted.d/rsh の変更点)

```
disable = no
only_from = 192.168.1.0/24 (ドメイン内からのみ)
```

8 起動時に RAM ディスクを作るスクリプト

以下のようなスクリプト(NFSROOT)を作成し、クライアントの起動スクリプトディレクトリ (/tftpboot/Linux/etc/rc.d/init.d)に保存する(chmod 755)。

```
#!/bin/sh
echo running /etc/init.d/NFSROOT
sleep 2
mount -t tmpfs tmpfs /ram -o size=128m
mkdir /ram/tmp
mkdir /ram/var
chmod 1777 /ram/tmp
touch /ram/tmp/mtab
cd /var.old; tar cf - . | (cd /ram/var; tar xfp -)
sleep 2
```

このスクリプトを適当な場所で起動するようにする。具体的には、
/tftpboot/Linux/etc/rc.d/rc.sysinit 内の擬似乱数発生コマンドの前、
if [-f “var/lib/random-seed”]; then ...

の直前あたりに、

```
./etc/init.d/NFSROOT
```

をはさむ。ネットワーク起動より前がよいようだ。

9 クライアントの各種サービスの停止 (/etc/rc3.d)

9.1 動かすべきもの

- network, xinetd
- netfs, autofs

9.2 とくにとめたほうがよいもの

- haldaemon (これがあると起動時に不具合をおこす)

10 起動用・終了用スクリプトの準備

10.1 起動用

10.1.1 WakeOnLan-0.41 を解凍して、必要なディレクトリに移動する。

10.1.2 wakeonlan-0.41 ディレクトリ内に、起動したいクライアントの MAC アドレスを書き並べたファイルを作る。

10.1.3 ./wakeonlan -f MAC アドレスを書いたファイル名

で起動する。wakeonlan コマンドは、起動さえできればどのユーザでもクライアントの起動ができるようになる。

10.2 終了用スクリプト

10.2.1 /tftpboot 内に終了スクリプト用のディレクトリ(/tftpboot/client_shutdown/)を用意する。

10.2.2 以下のような遠隔再起動スクリプト(client_reboot.pl)を用意する。

```
#!/usr/bin/perl
$SLF = $ARGV[0];
print "Shutdown List File is ", $SLF, "\n";
open(SH, $SLF);
while(<<SH>) {
    if(! /^#/) {
        chop;
        @cname = $split(' ');
        print $cname[0], "\n";
        system("rsh -n $cname[0] sudo /sbin/shutdown -r now &");
    }
}
}
```

10.2.3 シャットダウンさせるクライアントの IP アドレスを書いたリストを用意する。

例:

```
# client IP addresses list
192.168.1.1
192.168.1.2
...
```

10.2.4 クライアントの設定ディレクトリ内(/tftpboot/Linux/etc)で、

10.2.4.1 hosts.equiv にサーバの IP アドレスを記す。

10.2.4.2 Sudoers に

```
User_Alias          SHUTUSERS = シャットダウンを認めるユーザ名
Cmdn_Alias          REBOOT = /sbin/shutdown -r now
SHUTUSERS ALL= NOPASSWD: REBOOT
```

11 ネットワークスイッチの設定 (Cisco Catalyst 4006)

Catalyst 4006 の場合、標準設定では、DHCP に関する L2 ブロードキャスト(discover など)を VLAN 内各ポートへ自動転送する設定になっていない。それを直すために、

>set port host モジュール番号/ポート番号

コマンドを必要な各ポートについて入力した。現在主力となる主な Catalyst スイッチ(Catalyst 2900 シリーズなど)ではこの設定は不要であろう。

ダンピングなどを用いた逆問題における最適解の存在点について

On determination of solution in damped inverse problems

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,
Ridai-cho, Okayama 700-0005, Japan

hatake@center.ous.ac.jp

データ点が少ない、あるいは、データの質が良くない時に逆問題を解こうとして、単純な最小二乗法を使用しても、答えがうまくもとまらないか答えの信頼性が低くなってしまふことは否めない。その様な場合に安定な解を導く方法として、ダンピングパラメータの使用 [1]、ストキャスティックインバージョン (Stochastic Inversion, [2]) やベイジアンモデリング (Bayesian Modelling, [3]) などの各種安定化法が存在する。上記方法では、通常最小二乗法で最小化すべき項のほかに、解を安定させるための項を加えたベクトル関数を最小化させる。たとえば、

$$S(\mathbf{x}) = (\mathbf{y}^o - \mathbf{G}\mathbf{x})^T \mathbf{C}_e^{-1} (\mathbf{y}^o - \mathbf{G}\mathbf{x}) + \alpha^2 (\mathbf{x} - \mathbf{x}^\#)^T \mathbf{C}_m^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^\#), \quad (1)$$

のようなものである。ここで、 $\mathbf{y} = \mathbf{G}\mathbf{x}$ が線形な観測方程式 (非線形の場合は $\mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$ のようになる) で、 \mathbf{y}^o はデータベクトル、 \mathbf{C}_e はデータの誤差行列を表す。右辺第1項は、単純な最小二乗法を表す。また、第2項の \mathbf{C}_m は二次形式を形作る行列 (モデルへの制約など) であるが、もし、モデルのしかるべき中心が零ベクトルでない場合、第2項は、 $\alpha^2 (\mathbf{x} - \mathbf{x}^\#)^T \mathbf{C}_m^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^\#)$, のようになる。ダンピングを用いた逆問題の場合、(1)式で \mathbf{C}_m は単位行列を使用する。ストキャスティックインバージョンやベイジアンモデリングでは、それぞれの思想に基づいたもう少し複雑なモデルへの制約条件や先験的情報が課される。

(1)式にある、非負なパラメータ α^2 が「ダンピングパラメータ」や「超パラメータ (hyper parameter)」と呼ばれる未定定数で、第1項 (最小二乗項) に対する第2項 (制約項) の重みを表している。即ち、逆問題の解は、 $\alpha^2 = 0$ で最小二乗解に、 $\alpha^2 \rightarrow \infty$ の極限で制約条件に縛られた答え (零ベクトルなど) になる。

さて、このような手法を用いた逆問題を解く場合、もっとも重要かつもっとも難しい問題は、 α^2 の最適な値をどうやって決定するかである。多くのケースでは、 α^2 を変化させながらその都度逆問題を解いて、最小二乗残差すなわち (1) 式の右辺第1項が変化するさまを観察し、適当な α^2 を決定する方法等が採用されているようだ。一方で、ABIC (Akaike's Bayesian Information Criteria) のような統計数理的手法を用いて客観的に決めようという試みもある [4]。ここでは、ABIC による超パラメータ決定法と残差の関係について見てみたい。

ABIC 法では、モデルのすべての解空間における情報量エントロピーが最大になるような α^2 が最適であるという思想を主張する。即ち、

$$\log \int p(\mathbf{x}; \alpha^2 | \mathbf{y}^o) \quad (2)$$

を最大にするように、 α^2 を決定すればよいということである ($p(\mathbf{x}; \alpha^2 | \mathbf{y}^o)$ は \mathbf{y}^o が観測される時の \mathbf{x} の確率密度分布)。 (1) 式のような問題の場合、 α^2 を変化させながら逐次逆問題を解き、 (2) 式から導かれる、

$$ABIC(\alpha^2) \equiv N \ln(S(\hat{\mathbf{x}})) - M \ln(\alpha^2) + \ln \left\| \mathbf{G}^T \mathbf{C}_e^{-1} \mathbf{G} + \alpha^2 \mathbf{C}_m^{-1} \right\| \quad (3)$$

を最小にすることを目標とすることになる [5]。 $\hat{\mathbf{x}}$ はその α^2 を固定した時の逆問題の解を表し、非線形の場合は第3項の \mathbf{G} の代わりに解の近傍でのヤコビ行列を用いればよい [6]。

(3) 式の右辺にある3つの項をそれぞれ、 $ABIC1 = N \ln(S(\hat{\mathbf{x}}))$, $ABIC2 = -M \ln(\alpha^2)$, $ABIC3 = \ln \left\| \mathbf{G}^T \mathbf{C}_e^{-1} \mathbf{G} + \alpha^2 \mathbf{C}_m^{-1} \right\|$ と名づけると、筆者のこれまでの経験から、各項とその合計 $ABIC$ の α^2 の変化に対する挙動は図1のようになることが多い。

$ABIC1$ は (1) 式からデータのスフィット (残差) を表す項である。 α^2 の低い極限では最小二乗残差を、高い極限ではモデルへの制約条件や先験的情報に基づく解とデータの差を表し、いずれも一定の値に近づく (平坦になる)。 $ABIC2$ の項は片対数グラフにおいて右下がりの直線になる。 $ABIC3$ は α^2 が大きなところでは、右上がりの直線になり、この勾配はちょうど $ABIC2$ の反対になる。また、 α^2 が小さくなるとある値へ落ち着く (水平になる)。全体として $ABIC$ が最小値を取る α^2 は、 $ABIC1$ の下側のカーブとなる点と、 $ABIC3$ の傾きが変わる点の位置関係で決まる ($ABIC3$ の傾きが変わるところで $ABIC2 + ABIC3$ が左肩上がりになる)。

しかし、時に $ABIC$ が最適な α^2 を決められない場合もある。たとえば、求めるべきモデルパラメータの数がデータ量よりも少なくなってしまう劣決

定問題の時(行列 C_m のランクが C_m の列の数よりも小さくなる時)は、そのようになりがちである(図2)。このような場合、 α^2 が十分小さくなって $ABIC1$ が平らになるよりも前に、逆問題を解くための逆行列が求まらなくなる [7]。また、 $ABIC2 + ABIC3$ の傾きが変化する点が、 $ABIC1$ の α^2 が大きい側の傾き一定になる点よりも右へ行ってしまい、 $ABIC$ 最小が求まらないこともあるようだ。

$ABIC$ 最小が見つからないようなケースでも、半ば強引に α^2 を決定して逆問題を解いてしまうことがままある。このような時には「 $ABIC$ 法は使えない」などとされてしまいがちだが、それは間違っている。そうではなくて、求めたいモデルパラメータの数に対して信頼性のある独立なデータが著しく少ないのである。 $ABIC$ は「データが足りないから、適切な α^2 を決めようがない」と言っているのだ。この時、無理矢理決められた”最適な” α^2 は、望まれる値よりも大きいので、データの少なさ、誤差の大きさなどに引っ張られた荒い解を導き出すという傾向を心に留めておかねばならない。

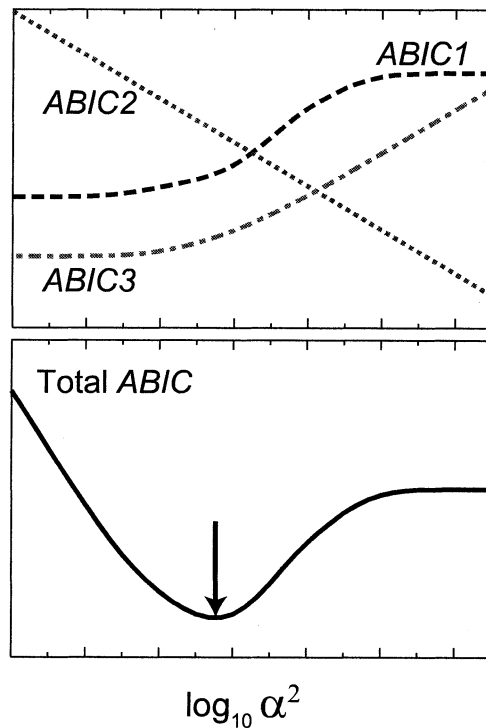


Figure 1: $ABIC$ の典型的な挙動。下図の矢印の位置で $ABIC$ が最小となり、この α^2 が最適なパラメータだと判断できる。

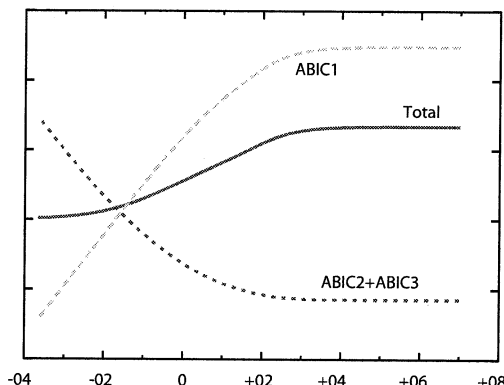


Figure 2: ABIC 最小がうまく決定できない例。

References

- [1] W. メンケ, 離散インバース理論—逆問題とデータ解析, 古今書院, pp294, 1997.
- [2] Gubbins, D., Geomagnetic field analysis – I. stochastic inversion, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **73**, 641–652, 1983.
- [3] Jackson D. D., The use of a priori data to resolve non-uniqueness in linear inversion, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **57**, 137-157, 1979.
- [4] Akaike H., Likelihood and Bayes procedure, in *Bayesian statistics*, edited by Krishnaiah, North-Holland, 27-41, 1980.
- [5] 松浦充宏, インバージョン解析法, 現代測地学, **A-2-4**, 477–482, 1991.
- [6] Hatakeyama T. and M. Kono, Geomagnetic field model for the last 5 My: time-averaged field and secular variation, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **133**, 181–215, 2002.
- [7] $S(\mathbf{x})$ の極小を求めるために $G^T C_e^{-1} G + \alpha^2 C_m^{-1}$ の逆行列を求める必要があるが、 $n \times m$ の大きさを持ち、 $Rank(C_m) < m$ となる C_m から、 $(G^T C_e^{-1} G)^{-1}$ を求めることができない。数値計算的には、 α^2 が十分小さくしていくとどこかで逆行列が求まらなくなる。

ベクトル Aitken δ^2 加速法

榊原道夫*, 黒田正博**

*岡山理科大学 情報科学科, **岡山理科大学 社会情報学科

1. はじめに

反復法は方程式を近似的に解く場合に用いられる一般的な手法であり、問題が線型、非線形を問わず種々なものが提案されている。反復法の収束率が1次である場合、その収束特性を改善するために補外法が用いられる。例えば線型方程式の場合、SOR法[1]、チェビシェフ加速法[3]などがその例である。非線形の反復式で用いられるものとしては Aitken δ^2 加速法がある。Aitken δ^2 加速法はスカラー反復式：

$$(1) \quad x^{(k+1)} = f(x^{(k)})$$

によって生成させるスカラー収束列 $x^{(k)}$ の集積点 $x^* = \lim_{k \rightarrow \infty} x^{(k)}$ への収束を加速する代表的な方法の1つである。この加速はスカラー収束列 $x^{(k)}$ を非線形変換

$$(2) \quad y^{(k)} = \frac{x^{(k+2)}x^{(k+1)} - x^{(k)}}{x^{(k+2)} - 2x^{(k+1)} + x^{(k)}}$$

により与えられる。(2)は(1)による列が線形に収束する場合、(1)よりも速く収束することが知られている。また(2)は不動点方程式：

$$(3) \quad x - f(x) = 0$$

にたいしてセカント法を適用することにより導出されることが知られている。

しかし、(2)を直接ベクトル列の加速に適用できない。そこで、この報告では(3)のベクトル版にたいするセカント法の理論より(2)のベクトル版を構成する。数値例より提案する加速変換が有効であることを示す。

2. スカラー列に対する Aitken δ^2 加速

Aitken δ^2 の導出法 (スカラー方程式の場合)

不動点方程式

$$(4) \quad F(x) = x - f(x) = 0$$

に対してセカント法

$$(5) \quad x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{x^{(k)} - x^{(k-1)}}{F(x^{(k)}) - F(x^{(k-1)})} F(x^{(k)})$$

を考える。次の(1)より反復過程：

$$(6) \quad x^{(k+1)} = f(x^{(k)})$$

により生成される列: $\{x^{(0)}, x^{(1)}, x^{(2)}, \dots\}$ が収束しその集積点を x^* とする。(3) と (2) の右辺

より生成される新たな列 $\{y^{(0)}, y^{(1)}, y^{(2)}, \dots\}$ を

$$\begin{aligned}
 (7) \quad y^{(k)} &= x^{(k+1)} - \frac{x^{(k+1)} - x^{(k)}}{(x^{(k+1)} - f(x^{(k+1)})) - (x^{(k)} - f(x^{(k)}))} (x^{(k+1)} - f(x^{(k+1)})) \\
 &= x^{(k+1)} - \frac{x^{(k+1)} - x^{(k)}}{(x^{(k+1)} - x^{(k+2)}) - (x^{(k)} - x^{(k+1)})} (x^{(k+1)} - x^{(k)}) \\
 &= x^{(k+1)} + \frac{(x^{(k+1)} - x^{(k)})(x^{(k+1)} - x^{(k+2)})}{x^{(k+2)} - 2x^{(k+1)} + x^{(k)}} \\
 &= \frac{x^{(k+1)}(x^{(k+2)} - 2x^{(k+1)} + x^{(k)}) + ((x^{(k+1)})^2 - x^{(k+1)}x^{(k)} - x^{(k+1)}x^{(k+2)} + x^{(k+2)}x^{(k)})}{x^{(k+2)} - 2x^{(k+1)} + x^{(k)}} \\
 &= \frac{x^{(k+2)}x^{(k)} - (x^{(k+1)})^2}{x^{(k+2)} - 2x^{(k+1)} + x^{(k)}}
 \end{aligned}$$

3. ベクトル方程式に対するセカント法

いま、 $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ とし、 $\vec{F}: R^n \rightarrow R^n$ とする。このとき方程式:

$$(8) \quad \vec{G}(\vec{x}) = \vec{x} - \vec{F}(\vec{x}) = \vec{0}$$

の解を反復的に求めるニュートン・ラブソン法は

$$(9) \quad \vec{x}^{(k+1)} = \vec{x}^{(k)} - J[\vec{x}^{(k)}]^{-1} \vec{G}(\vec{x}^{(k)})$$

で与えられる。ここで $J[\vec{x}]$ はベクトル値関数 $\vec{G}(\vec{x})$ により与えられるヤコビアン行列である。

$J[\vec{x}]$ は一般に密行列であり、(5) の反復式を進める上で方程式

$$(10) \quad J[\vec{x}^{(k)}] \begin{pmatrix} \vec{x}^{(k+1)} \\ -\vec{x}^{(k)} \end{pmatrix} = -\vec{G}(\vec{x}^{(k)})$$

を解く必要がある。方程式 (6) が簡単に解けるように $J[\vec{x}]$ の代用として近似ヤコビアン行列を用いる方法 (準ニュートン法) が存在する。近似の方法としては2通り

- A) $J[\vec{x}]$ の成分を偏導関数より計算するのではなく、その近似式 (たとえば差分) により与える

B) $J[\vec{x}]$ の一部の成分より構成される近似行列を用いる

あり、またこれらを組み合わせることもできる。(4) にたいするセカント法は $J[\vec{x}]$ の対角成分だけを差分式で与える行列

$$(11) \quad J_{DS}[\vec{x}^{(k+1)}, \vec{x}^{(k)}] = \begin{bmatrix} \frac{G_1(\vec{x}^{(k+1)}) - G_1(\vec{x}^{(k)})}{x_1^{(k+1)} - x_1^{(k)}} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{G_2(\vec{x}^{(k+1)}) - G_2(\vec{x}^{(k)})}{x_2^{(k+1)} - x_2^{(k)}} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \frac{G_n(\vec{x}^{(k+1)}) - G_n(\vec{x}^{(k)})}{x_n^{(k+1)} - x_n^{(k)}} \end{bmatrix}$$

と与える場合を考える。ベクトル方程式に対する代表的なセカント法の1つは

$$(12) \quad J_{DS}[\vec{x}^{-(k+1)}, \vec{x}^{-(k)}] (\vec{x}^{-(k+2)} - \vec{x}^{-(k+1)}) = -\vec{G}(\vec{x}^{-(k+1)})$$

となる。行列 $J_{DS}[\vec{x}^{-(k+1)}, \vec{x}^{-(k)}]$ は対角行列であるためその逆は陽に与えられる。(9) と (4) より、成分ごとに (4) の Aitken δ^2 加速を適用し、

$$(13) \quad y_i^{(k)} = x_i^{(k+1)} - \frac{x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}}{(x_i^{(k+1)} - f(x_i^{(k+1)})) - (x_i^{(k)} - f(x_i^{(k)}))} (x_i^{(k+1)} - f(x_i^{(k+1)})) \\ = \frac{x_i^{(k+2)} x_i^{(k)} - (x_i^{(k+1)})^2}{x_i^{(k+2)} - 2x_i^{(k+1)} + x_i^{(k)}} \quad ; \quad i = 1, \dots, n$$

により加速収束ベクトル列を得ることができる。

4. 数値実験

前節で導出したベクトル Aitken 加速の有効性を示すために数値実験の結果を示す。

数値実験1 (線形反復の例): 線型方程式:

$$(14) \quad \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.4 \\ -0.8 & 1 & -0.1 \\ -0.2 & -0.7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

を考える。この方程式の解は $(x_1, x_2, x_3) = (10, 10, 10)$ である。(11) に対するヤコビ反復スキームは

$$(15) \quad \begin{bmatrix} x_1^{(k+1)} \\ x_2^{(k+1)} \\ x_3^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.4 \\ 0.8 & 0 & 0.1 \\ 0.2 & 0.7 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^{(k)} \\ x_2^{(k)} \\ x_3^{(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

となる。初期値を $(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}) = (1, 2, 3)$ とした場合の

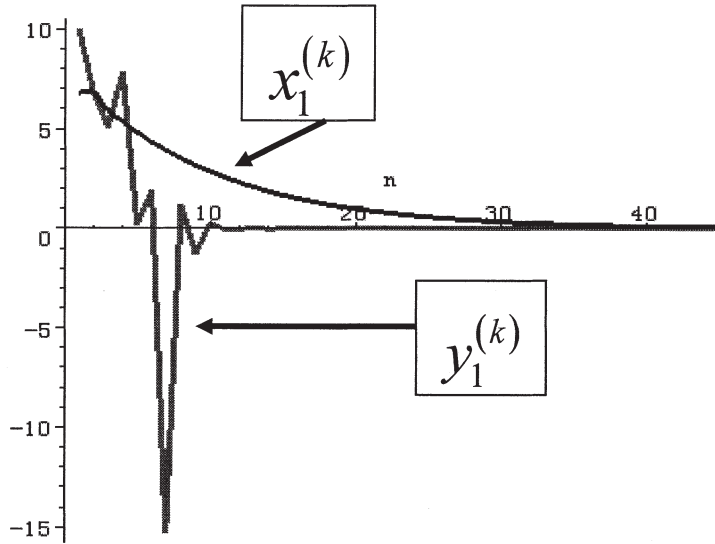


図1：反復回数に対する誤差
の振る舞い； $x_1^{(k)}$ と $y_1^{(k)}$

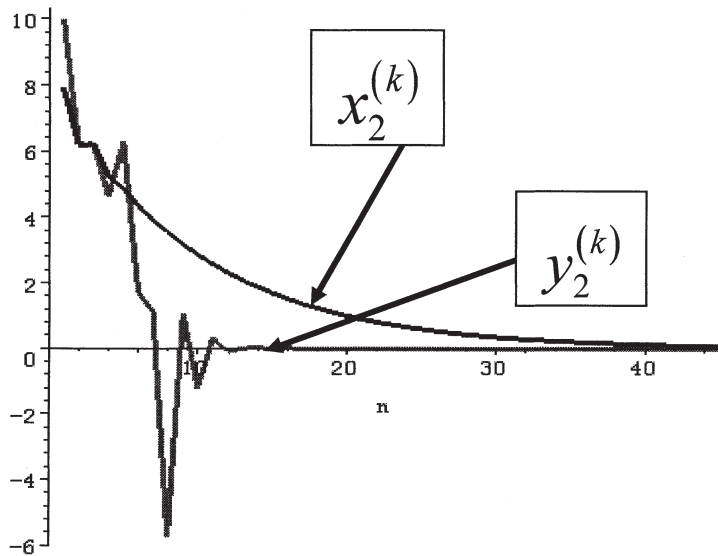


図2：反復回数に対する誤差
の振る舞い； $x_2^{(k)}$ と $y_2^{(k)}$

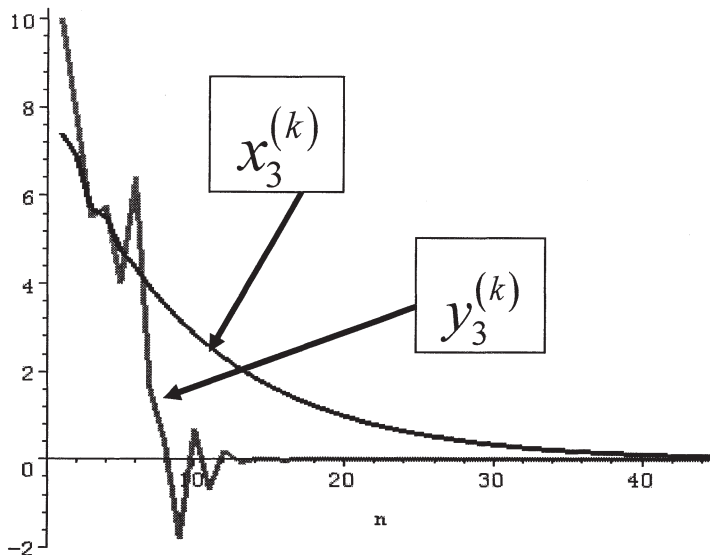


図3：反復回数に対する誤差の振る舞い； $x_3^{(k)}$ と $y_3^{(k)}$

いずれの成分もヤコビ反復解よりはるかに速い収束特性を示している。

数値実験2（EM アルゴリズムへの適用）：ここで示す数値結果は論文[2]において示したものである。この問題は非線型反復に対する例である。問題等の詳細は論文[2]を参照。

表1：EM法とAitken加速を行った場合の収束比較

方法	反復回数	乗算数
EM法	EM反復412回	8240
Aitken加速を行ったEM法	EM反復10回+Aitken加速値計算8回	264

5. おわりに

Aitken δ^2 加速はスカラー列の収束を加速するアルゴリズムのひとつであるが、ここで示したように多変数問題に対するセカント法を用いることにより、ベクトル列の加速法としてスカラーに対する公式を成分ごとに当てはめることにより、用いることができる。線型方程式より導出された反復過程および最尤推定に用いられるEMアルゴリズムでの反復過程に適用した結果、収束十分加速できることがわかった。今後スカラー列に対し知られているAitken加速性質をベクトルの場合についても考察していく。

参考文献：

- [1]山本哲郎, 数値解析入門 [増訂版], サイエンス社, 2001.
- [2]Sakakihara, M. and Kuroda, H. : Imprving convergence rate of EM algorithm via component wise Aitken Δ^2 acceleration, Information, vol.8, 823-828, 2005.
- [3]Habetler,G.J. and Wachspress,E.L., Symmetric successive over-relaxation in solving diffusion difference equations, Math. Comp., vol.15, 356-363, 1961.

近似エルミート補間によるいくつかの数値積分公式

榊原道夫（岡山理科大学総合情報学部）

1. はじめに

積分

$$(1) \quad I = \int_a^b f(x) dx$$

の近似値を計算する公式には種々なものが存在する。その中で台形公式：

$$(2) \quad I \approx I_h^T = \sum_{i=0}^{n-1} h_i \frac{f_i + f_{i+1}}{2}$$

は重要な公式の一つである。公式（2）とほぼ同じ程度の手間で、収束速度を倍にする方法として3次エルミート補間関数を用いた公式[1]：

$$(3) \quad I \approx I_h^H = \left(\frac{h_0^2 f'_0}{12} - \frac{h_n^2 f'_n}{12} \right) + \sum_{i=0}^{n-1} h_i \frac{f_i + f_{i+1}}{2}$$

が存在する。この公式は4次の精度がある。この数値積分公式には積分区間の両端点における関数の微分係数が含まれている。公式（3）をそのまま用いるとそれら微分係数を与えなければならぬので手間がかかる。そこでこれらの微分係数を差分に置き換え、積分区間内の関数値評価だけで計算できる積分公式を提案する。提案する数値積分公式の収束精度について言及すると共に、数値例によりその有効性をしめす。

2. 提案する数値積分公式

（3）に含まれる微分係数値を差分近似する。数値積分全体の精度を落とさない工夫として次の3つの場合：

- Type I** : 両端の微分係数を4次の精度の差分式により計算する。この場合、計算に用いられる関数値は、数値積分に用いられる格子点での値を用いる
- Type II** : 微分係数を1次、2次または3次精度の差分式で評価する。この場合は、数値積分の精度を損なわないように差分格子を選ぶ。そのため数値積分で用いる格子とは別の点での関数値を計算する必要がある
- Type III** : Type I と Type II の混合方式で端点の微分係数の計算に4次の差分を用い差分格子は数値積分のための分割よりも細かくする方法

が存在する。次にこれらの定式化を示す。定式化においては等分割： $h_i = h$ [$i = 0, \dots, n$]を用いた場合に限定する。

2.1 Type I の定式化

差分式[2]として

$$(4) \quad f'_0 \approx d_0 = \frac{1}{4!h}(-50f_0 + 96f_1 - 72f_2 + 32f_3 - 6f_4)$$

$$(5) \quad f'_n \approx d_n = \frac{1}{4!h}(6f_{n-4} - 32f_{n-3} + 72f_{n-2} - 96f_{n-1} + 50f_n)$$

を用いる。これらの差分の誤差は

$$(6) \quad |f'_i - d_i| = \left| \frac{h^4 f^{(5)}(\xi)}{5} \right|$$

である。(4) および (5) を (3) に適用し

$$(7) \quad \begin{aligned} I &\approx S_h^I \\ &= \frac{h}{288}((-50f_0 + 96f_1 - 72f_2 + 32f_3 - 6f_4) - (6f_{n-4} - 32f_{n-3} + 72f_{n-2} - 96f_{n-1} + 50f_n)) \\ &\quad + h \left(\frac{f_0 + f_n}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} f_i \right) \end{aligned}$$

をえる。

2.2 Type II の定式化

(4)、(5) の代わりに両端で差分式：

$$(8 \alpha) \quad d_0^\alpha = \frac{f_1 - f_0}{h_\alpha}, \quad d_n^\alpha = \frac{f_n - f_{n-1}}{h_\alpha}, \quad |f'_i - d_i^\alpha| = \left| \frac{h_\alpha f^{(2)}(\xi)}{2} \right|$$

$$(8 \beta) \quad d_0^\beta = \frac{-3f_0 + 4f_1 - f_2}{2h_\beta}, \quad d_n^\beta = \frac{f_{n-2} - 4f_{n-1} + 3f_n}{2h_\beta}, \quad |f'_i - d_i^\beta| = \left| \frac{h_\beta^2 f^{(3)}(\xi)}{3} \right|$$

を用いる。ここで、 h_α, h_β は

$$(9 \alpha) \quad h_\alpha = \frac{f^{(4)}(\bar{\xi})}{360 f^{(2)}(\xi)} h^4$$

$$(9 \beta) \quad h_\beta = h^2 \sqrt{\frac{f^{(4)}(\bar{\xi})}{240 f^{(3)}(\xi)}}$$

により計算する。(9 β) の実用的な計算法として $f^{(4)}(\bar{\xi})/f^{(3)}(\xi) \approx 1$ と考え、

$$(10) \quad h_\beta = h^2 \sqrt{\frac{1}{240}} \approx 0.0646h^2$$

2.3 Type III の定式化

差分格子として数値積分に用いるセルの 1/2、1/4 を取ることが考えられる。

1/2 の場合の差分式は

$$(1.1) \quad f'_0 \approx d_0^{h/2} = \frac{1}{12h}(-50f_0 + 96f_{1/2} - 72f_1 + 32f_{3/2} - 6f_2)$$

$$(1.2) \quad f'_n \approx d_n^{h/2} = \frac{1}{12h}(6f_{n-2} - 32f_{n-3/2} + 72f_{n-1} - 96f_{n-1/2} + 50f_n)$$

となる。ここで、新たに必要とする関数値は $f_{1/2}, f_{3/2}, f_{n-3/2}, f_{n-1/2}$ である。

1/4 の場合の差分式は

$$(1.3) \quad f'_0 \approx d_0^{h/4} = \frac{1}{6h}(-50f_0 + 96f_{1/4} - 72f_{1/2} + 32f_{3/4} - 6f_1)$$

$$(1.4) \quad f'_n \approx d_n^{h/4} = \frac{1}{6h}(6f_{n-1} - 32f_{n-3/4} + 72f_{n-1/2} - 96f_{n-1/4} + 50f_n)$$

である。ここで、新たに必要とする関数値は $f_{1/4}, f_{1/2}, f_{3/4}, f_{n-3/4}, f_{n-1/2}, f_{n-1/4}$ である。

3. 数値実験

定式化した数値積分公式に対する数値実験を示す。被積分関数として $F_k(x) = \sin(\exp(kx))$, $k = 2, 3$ 積分領域として $[0, 1]$ の場合を考える。

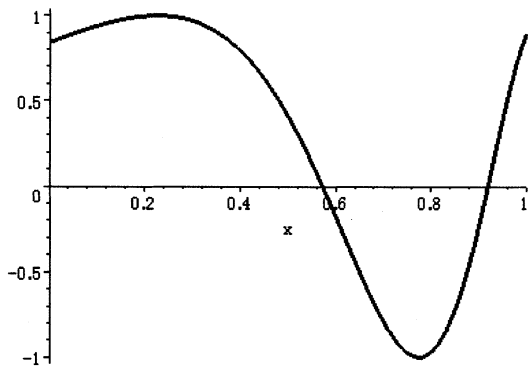


図 1 : $k = 2$ の場合の関数グラフ

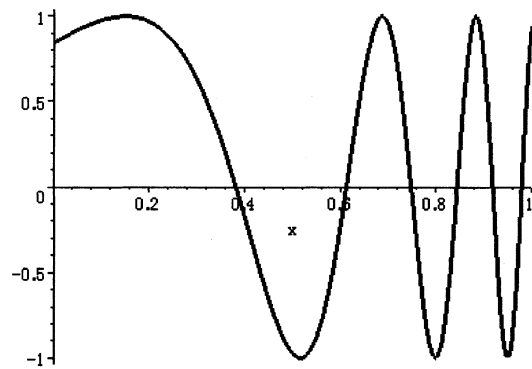


図 2 : $k = 3$ の場合の関数グラフ

数値計算は Maple で行い、浮動小数点として 10 進 20 桁の場合で数値例を計算した。計算結果を表 1 に示す。

表 1 : 数値計算値の相対誤差

	$k = 2$: 分割数 24	$k = 2$: 分割数 240	$k = 3$: 分割数 24	$k = 3$: 分割数 240
台形公式	0.295×10^{-2}	0.291×10^{-4}	0.158×10^{-1}	0.130×10^{-3}
(3) の式	0.397×10^{-4}	0.391×10^{-8}	0.280×10^{-2}	0.213×10^{-6}
(7) の式	0.117×10^{-3}	0.420×10^{-8}	0.589×10^{-1}	0.521×10^{-6}
Type III 1/2	0.515×10^{-4}	0.392×10^{-8}	0.730×10^{-2}	0.231×10^{-6}
Type III 1/4	0.407×10^{-4}	0.391×10^{-8}	0.381×10^{-2}	0.214×10^{-6}

被積分関数は図 1、2 から分かるように k の増加に伴い、振動数が非対称に急激に増加する関数である。表 1 からは公式 Type III 1/2、1/4 が (3) 式を用いた場合と同様に理論的な結果に対応した精度が得られている。

4. 終わりに

数値例からもわかるように、提案した数値積分法 (TypeIII1/2,1/4) により 4 次精度の数値解が得られる。実際の計算でできるだけ計算量を増やさないためには、TypeIII1/2 が適している。

数値実験に用いた関数 $F_k(x) = \sin(\exp(kx))$ で $k=5$ の場合、図 3 に示すように $x=1$ の付近で振動数急激に増加しているような場合、適応的な数値積分を考えなければならない。そのような場合 TypeIII の方が TypeI よりも比較的荒い分割で 2 次の精度が数値例で確かめられたことより適していると考えられる。今後、提案した数値積分公式を基に適応的な数値積分法を提案しその有効性を検証していく。

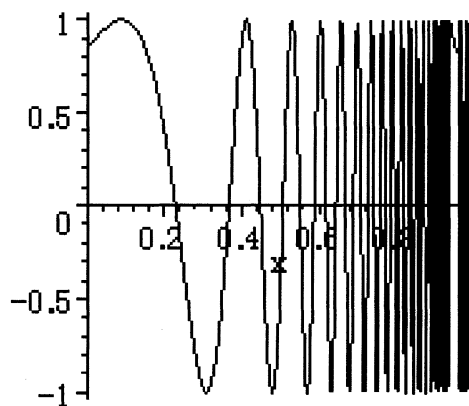


図 3 : $F_k(x) = \sin(\exp(kx))$, $k=5$ の場合のグラフ

参考文献

- [1]Stoer, J. and Bulirsch, R., Introduction to Numerical Analysis (second edition), Springer-Verlag, Texts in Applied Mathematics 12, 1992.
- [2]Schiesser, W.E., The Numerical Method of Lines, Academic Press, 1991.

Web 科学教材作成ツール : Mamakari

榊原道夫*, 大西荘一*, 豊田真司**

*岡山理科大学 情報科学科, **岡山理科大学 化学科

1. はじめに

Web を利用した教育コンテンツの製作・利用環境は、未だ編集者と利用者にとって十分に使いやすく標準化された状況にあるとは言いがたい。特に、理数系の科目（数学、化学、物理、生物、地学）のコンテンツには、文章だけではなく数式、図、表などが重要な役割を果し、時には変化、動作をアニメーションとして表現することが理解を助ける場合がある。これら教材コンテンツについての知識を持つものは、Web コンテンツ作成の専門家ではない場合が多い。Web の作成の方法について複雑な知識、技術を習得する手間をできるだけ省くことが多くのコンテンツを教育の現場に導入するのに重要なポイントとなる。

本報告では、理系のWeb 教材コンテンツを作成するにあたり、できるだけ簡単に予備知識なく作成するためのツールの開発を試みた。その結果について報告する。ツール製作において留意した点は

- A) 編集に当たっては MicrosoftWord で文章を作成程度の編集過程で済ませる
- B) Web コンテンツは、できるだけ多種のブラウザで利用できる
- C) 利用者のダウンロードに過重な付加をかけない
- D) 編集者のパソコン環境にできるだけ依存しないツールとする

である。これらの要件よりツールは Java で製作し、Web コンテンツは Flash で保存する形式を採用した。このような要求を実現するツール群 Mamakari の構成を紹介するとともにその利用上の有用性について述べる。

2. Mamakari ツールの構成

Mamakari は e ラーニング向けの Web コンテンツを作成するツール群であり、

- A) 文書作成ツール
- B) グラフィックツール
- C) コンテンツ管理ツール

で構成されている。これらのツールを組み合わせ用いることにより目的とするコンテンツの編集する。それぞれのツールの機能について説明する。

2.1 文書作成ツールの概要

文書作成ツールを起動した初期画面を図 1 に示す。この文章ツールは Web コンテンツをグラフィック作成ツールと組み合わせ効果的な Web コンテンツを作成することができる。通常われわれが文章を WORD 等の文章編集アプリケーションにより編集すると同様な操作により、編集した文章を HTML ファイルとして保存することができる。また Web ページで動的な機能を実現するために用いられるインターフェースであるフォームも図 2 で示すように編集ができる。図 2 の画面のようなフォームを編集し、ブラウザでどのように表示されるかを確認しながら文書を作成できる。「ビュー」メニューの「ツールバー」から「メイン」「フォーマット」「スタイル」ツールバ

一の表示・非表示を切り替えられる。「ビュー」メニューの「ソース」によって図3で示すように、編集した HTML ファイルのソースを表示し、直接編集へ切り替えられる。

また入力支援ツールとして

- I) 数式 (図4) : 科学コンテンツに必要な数式の入力が行える
- II) 表 : テーブルの挿入を支援する
- III) フォーム作成ツール (図2) : Web ページで入力をする機能等を付加できるがある。

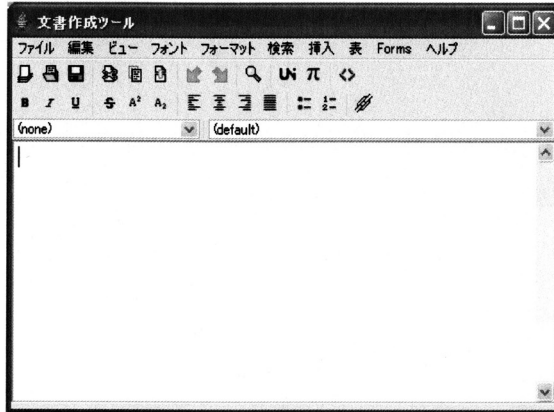


図1 : 文書作成ツールのメイン画面

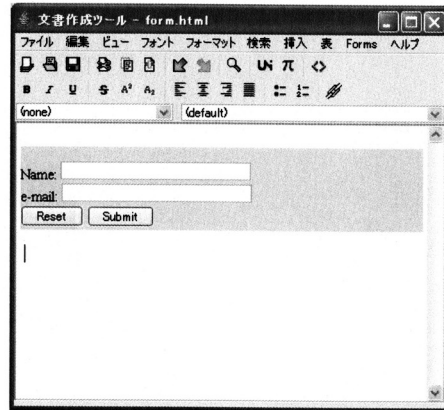


図2 : フォーム作成の例

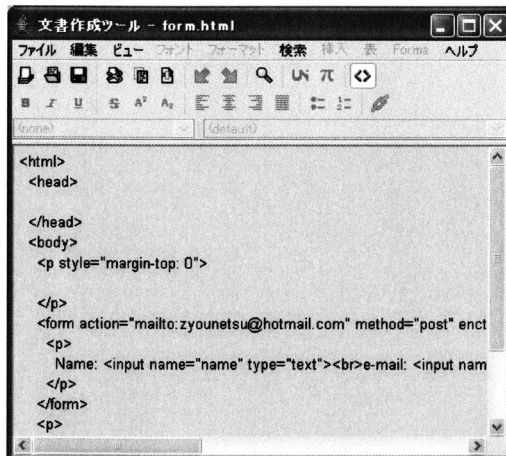


図3 : ソース編集画面

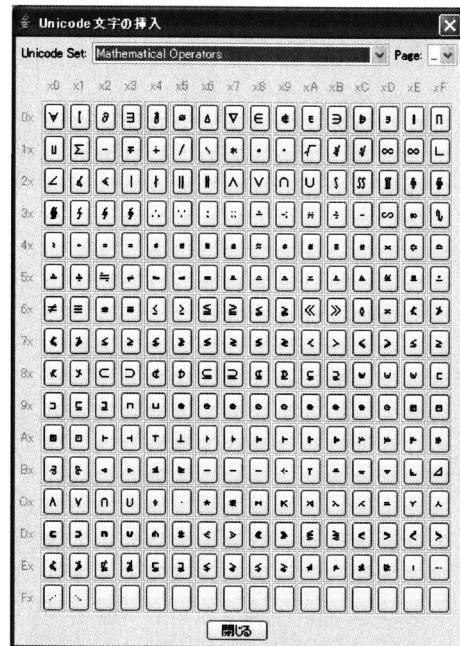


図4 : 数式入力支援ウィンドウ

2. 2 文書作成ツールで生成できる HTML 要素

文章作成ツールは編集した文章を自動的に HTML 文章として保存することができる。使用できるタグは

フォント関係 : 、斜体 : <i> : イタリック下線 : <u> : 選択された文字列に<u>タグによ

って下線を引く。取り消し線：<strike>選択された文字列に<strike>タグによって取り消し線を引く。上付：<sup>：選択された文字列を<sup>タグによって上付にする。下付：<sub>：選択された文字列を<sub>タグによって下付にする。大きい：<big>：選択された文字列を<big>タグによって大きくする。小さい：<small>：選択された文字列を<small>タグによって小さくする。サイズ：：選択された文字列のフォントサイズを「最も小さい」から「最も大きい」までの7段階で指定する。フォント：

選択された文字列のフォントの種類を指定する。一番下のツールバー右側のプルダウンメニューでも指定可。色：選択された文字列の色を指定する。

フォーマット： 整列：<p align="段落の位置">, <hn align="段落の位置">

カーソルのある段落・見出しを、左揃え・中央揃え・右揃え・両端揃えにする。

見出し：<h1>, <h2>, <h3>, <h4>, <h5>, <h6> 選択された文字列を1~6(大~小)の6段階の見出しにする。

リスト：, 選択された文字列をリスト(行頭に「・」の付いた箇条書き)にする。番号付リスト：, 選択された文字列を番号付きリスト(行頭に番号の付いた箇条書き)にする。アイテムリスト：, , <p>選択された文字列をリストにして、各アイテムの下に段落を設ける。

引用：<blockquote>選択された文字列を、文献・スピーチ・プログラムなどからの文章を抜粋・引用とする。

整形テキスト：<pre>ソースに、空白・改行・タブなどを含んだテキストをそのまま埋め込み、表示させる。ただしテキスト内の「<」「>」「&」はそれぞれ「<」「>」「&」に変換される。タイプライト：<tt>選択された文字列を、等幅フォントで表示する。

論理強調：選択された文字列を、文字修飾とは別に、論理的に強調する。

ハイパーリンク：<a>選択された文字列にハイパーリンクを割り当てる

ブレイク：
カーソルがある位置に
タグによる強制改行を入れる。

Horizontal Rule：<hr>カーソルがある位置に、段落の区切りとなる横線を入れる。

画像ファイル：カーソルがある位置に、画像を入れる。URL画像：

カーソルがある位置に、画像をURLを指定して入れる。

表(行・列の挿入・削除)：<table>, <tr>, <td>：カーソルがある位置に、表を作る。行数、列数、罫線の太さ、セル間隔、セル内の余白を指定できる。

フォーム： フォームを挿入：<form>カーソルがある位置に、入力フォームを作る。テキストフィールド：<input type="text">カーソルがある位置に、入力欄を作る。テキストエリア：<textarea>カーソルがある位置に、複数行の入力欄を作る。チェックボックス：<input type="checkbox">カーソルがある位置に、チェックボックスを作る。ラジオボタン：<input type="radio">カーソルがある位置に、ラジオボタンを作る。パスワード：<input type="password">カーソルがある位置に、入力文字が「*」で表示される入力欄を作る。ボタン：<input type="button">カーソルがある位置に、汎用ボタンを作る。Submit ボタン：<input type="submit">カーソルがある位置に、フォーム内の入力欄などの内容を送信するためのボタンを作る。リセットボタン：<input type="reset">カーソルがある位置に、フォーム内の入力欄などの内容を初期化するためのボタンを作る。

2. 4 Mamakari グラフィックツールの概要

グラフィックツールのインターフェース

グラフィックツールの画面は以下のようにになっている (起動時のデフォルト配置)。

上・左・右の操作パネルは自由に移動させることができる。

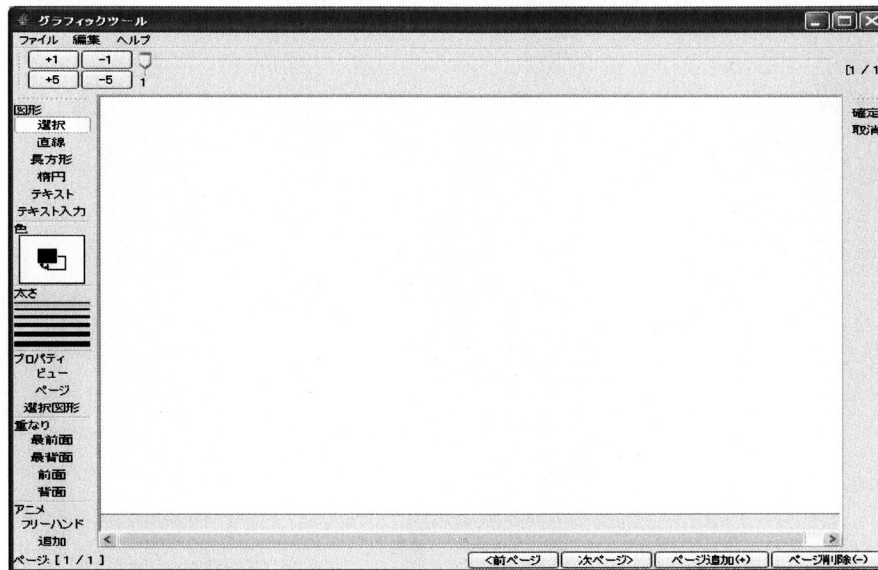


図 5 : グラフィックツールの表示画面

A 図形の描画

図形欄から選択することで、ペイントブラシと同様の操作で、以下の図形を描画できる。直線、長方形、楕円、テキスト、テキスト入力(実行時にユーザーが入力できるテキストボックス)

B 図形の選択

「選択」を選択して、図形をクリックするか、または長方形を描くのと同一要領で図形の一部を囲むと、その図形を選択できる。その状態でプロパティ、重なり、アニメ、イベント、切り取り、コピー、削除などの操作を行う。

C 図形の重なり

「最前面」「最背面」「前面」「背面」ボタンを操作し、選択中の図形を前面・背面に移動させることで、重なりを変更できる。

D 図形のアニメーション

アニメ欄の「フリーハンド」ボタンを選択した状態で、選択中の図形をドラッグすることによって、その軌跡を記憶してアニメーションとすることができる。「プレビュー」ボタンを押すことで、実行時の動きを確認できる。

E 図形のイベント

図形を選択して、イベント欄の「追加」ボタンを押すと、以下のような「イベントの設定」ダイアログが開く。

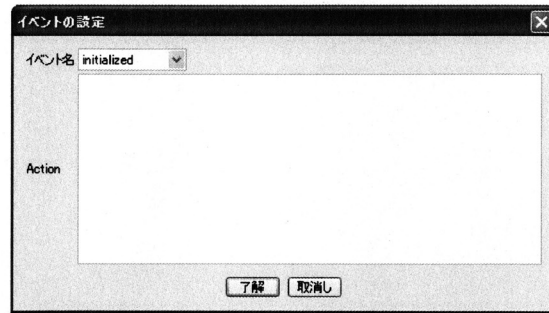


図 6 : イベント記述ウィンドウ

プルダウンメニューからイベント名 (mouse released、key pressed、focus gained など) を選択し、対応するアクションを下のテキストボックスへ記述して、「了解」ボタンを押す。動作は、アニメ欄の「プレビュー」ボタンを押して確認する。

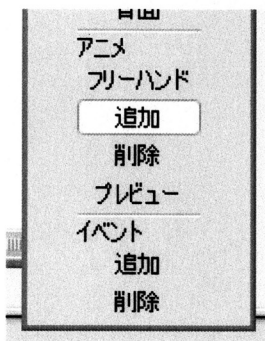


図 7 : アニメーション設定ボタン

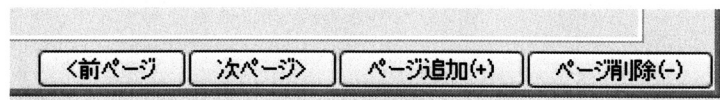


図 8 : ページ追加・移動ボタン

F ページの切り替え

「ページの追加(+)」ボタンによって、最後のページの次に新しいページが追加される。

「ページの削除(-)」ボタンによって、表示されているページを削除する。

「<前ページ」「次ページ」によって、表示ページを切り替える。

G ファイルの読込・保存

ファイル読込・保存は「ファイル」メニューから行う。SWF ファイルとして保存したい場合は「SWF 保存」を選ぶ。ただし SWF ファイルを読み込むことはできない。また、表示されているページを画像として保存することもできる。ファイル形式は PNG、JPEG、GIF の 3 つである。

H 図形の切り取り・コピー・貼り付け・削除

図形を選択した状態で「編集」メニューから「切り取り」「コピー」「削除」を行うことができる。切り取り・コピーした図形は「編集」メニューから「貼り付け」をすることができる。

2. 4 コンテンツ管理ツールの概要

上記のツールにより作成したコンテンツを整理した形式で学習者に提供するためのツールでありその作成例が図 9 である。この図において左側のボタンは Flash アプリケーションで、ボタンの項目を選択しクリックすることにより左側の表示を切り替えることができる。ボタンに表示される項目と対応するコンテンツは設定ファイル (XML ファイル) の編集により入れ替えることができる (図 10 参照)。このことによりコンテンツによりそれぞれそれをハンドリングする Flash アプリケーションを作成する必要がなくなる。

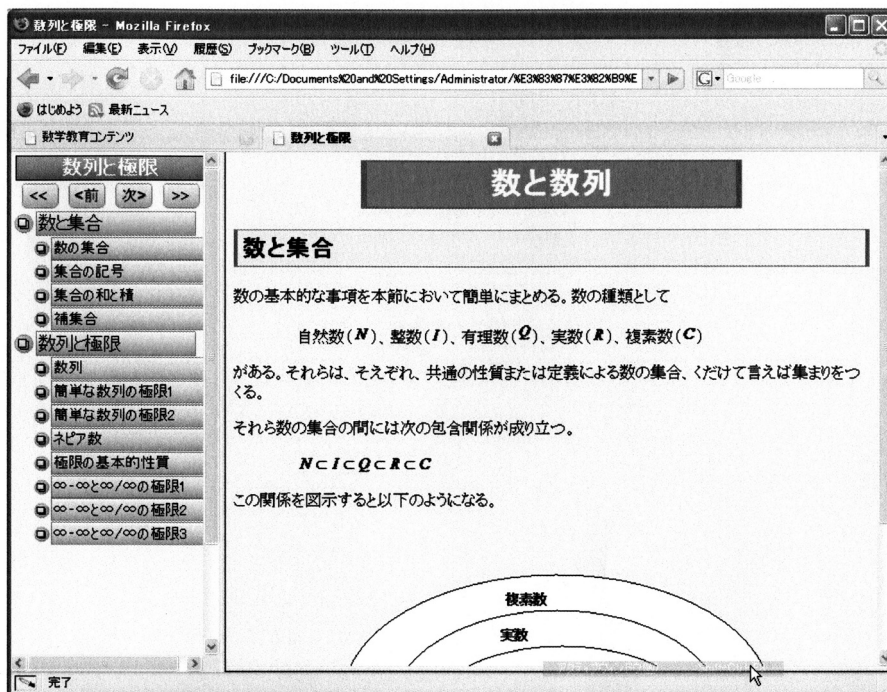


図 9 : コンテンツ管理ツールによる表示例



図 10 : 図 9 の左メニューボタンに対する XML ファイル

3. まとめ

今回製作したツールにより数式を含む動的なコンテンツを作成し公開するための作業を WORD で文章を編集する程度の負荷により実行することが可能となった。まだ、このツールを用いて、十分な量のコンテンツを作成していないため、基本的な機能としては問題ないが、複数のアニメーションを含みそれらが有機的に関連し説明が表現されているようなより複雑な形式のコンテンツを作成する場合など問題点がないかを検証していく。加えてより使いやすいツールへと発展させていく。

加計グループ・サイバーキャンパスを支えるLMS「MOMOTARO」

大西荘一** 北川文夫* 榊原道夫* 河野敏行* 青嶋 智* 山本敏弘*
西崎書彦*** 田坂仁昭**

* 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 *** 加計教育コンソーシアム

1. 概要

筆者らの e-Learning の取り組みは情報処理センター研究報告の第 22 号, 23 号, 24 号, 26 号 [1][2][3][4], 及び学外誌 [5][6], 学会発表 [8][9][10][11][12][13][14] に報告してきた. 今回はインターネット上に開設している加計グループ・サイバーキャンパスの状況とその管理システムである Learning Management System (LMS) 「MOMOTARO」について報告する. 現在, サイバーキャンパスは大きなトラブルもなく順調に運営されている. これは LMS 「MOMOTARO」の有効な機能と安定した品質によるところが大きい. 平成 18 年度は本学と協定している高校の生徒, 加計グループ 5 大学・1 短大の学生, それに九州保健福祉大学の通信課程生がサイバーキャンパスの科目を受講している. サイバーキャンパスの科目は加計グループの岡山理科大学 (岡山県・岡山市), 倉敷芸術科学大学 (岡山県・倉敷市), 吉備国際大学 (岡山県・高梁市), 九州保健福祉大学 (宮崎県・延岡市), 千葉科学技術大学 (千葉県・銚子市), 順正短期大学 (岡山県・高梁市) から提供されている.

図 1 はサイバーキャンパスのイメージ図, 図 2 はサイバーキャンパスのトップページである.

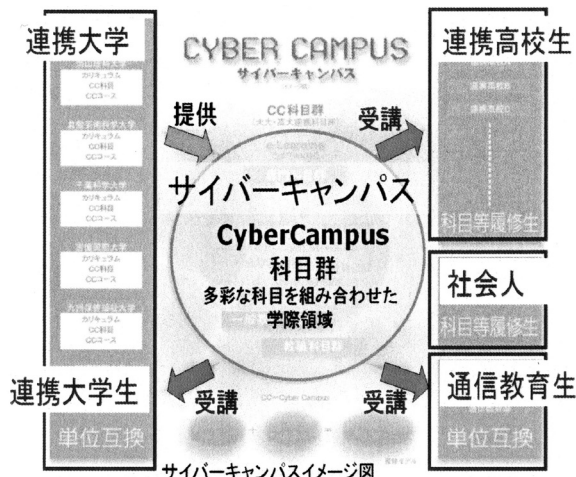


図 1. 加計グループ・サイバーキャンパスのイメージ



図 2. サイバーキャンパスのトップページ

2. サイバーキャンパスの状況

平成 17 年度に, それぞれ独立に運営していた岡山理科大学と高校との高大連携と加計グループ内の高大連携を融合し, サイバーキャンパスを構築した. サイバーキャンパスを円滑に運営するには全体を管理する LMS (Learning Management System) としての Web システムが必要となってくる. 複数の独立した組織間での遠隔教育は同一の組織内での遠隔教育とは異なり様々な特異点がある. また, 遠隔授業システムは発展段階であり, LMS も柔軟に対応する必要がある. これらの要求を満たすよう独自に LMS の開発をおこない, 「MOMOTARO」と命名した.

平成 18 年度は 5 大学・1 短大と 11 高校 (岡山県内 8 校, 県外 3 校) がサイバーキャンパスに参加している. 高大連携科目の遠隔授業方式は同期双方向と非同期双方向 (VOD) の併用方式であ

り、大大連携は非同期双方向の科目と同期双方向の科目がある。

2.1 LMSで管理されている科目と受講者数

表1は平成17年度と平成18年度のLMSで管理されている科目数と受講登録者数である。単位互換受講登録者数は他大学の科目を単位互換で受講した大学生の人数である。

表1. LMSに登録された科目数と受講登録者数(のべ人数)

年度	科目数	受講登録者数 (大学生)	受講登録者数 (高校生)	受講登録者 総数	単位互換 受講登録者数
17	7	735	118	853	415
18	26	3079	73	3152	2128

平成18年度は平成17年度に比べ、科目数は約4倍に増えている。受講登録者数も約4倍に増えている。科目数が増加するにしたがい受講生も着実に増加している。平成18年度前期で、単位互換受講登録者数のうち出席回数が規定の9回を満たさず、成績がE判定になった者すなわち放棄者率は科目によりバラつきがあり、24%~64%である。全科目の平均は35%である。面接授業に比較するとその率は高く、安易な気持ちで受講登録する傾向がみられるものの教育に対する影響は大きい。表2は所属別の受講登録者の実数である。岡山理科大学は約10%の学生がサイバーキャンパスを利用しており、新しい教育形態として定着した感がある。

表2. 平成18年度所属別受講登録者の実数(単位:名)

岡山 理科大	倉敷 芸科大	千葉 科技大	吉備 国際大	九州 保福大	九保福 大通信	順正 短期大	高校	合計
550	121	21	173	40	290	18	46	1259

2.2 教育効果

一般にe-Learningによる教育効果を計ることは困難である。北川は同一科目を講義室における対面講義とサイバーキャンパスで提供しているVODとを同時並行させ、学生には対面講義とVODのいずれを受講しても可として、学生の動向や成績を分析した[7]。分析の結果、予想を超える興味深い知見が得られた。得られた知見の一部を紹介する。

図3は対面講義とVODの受講の割合と定期試験の点数との関係を表している。

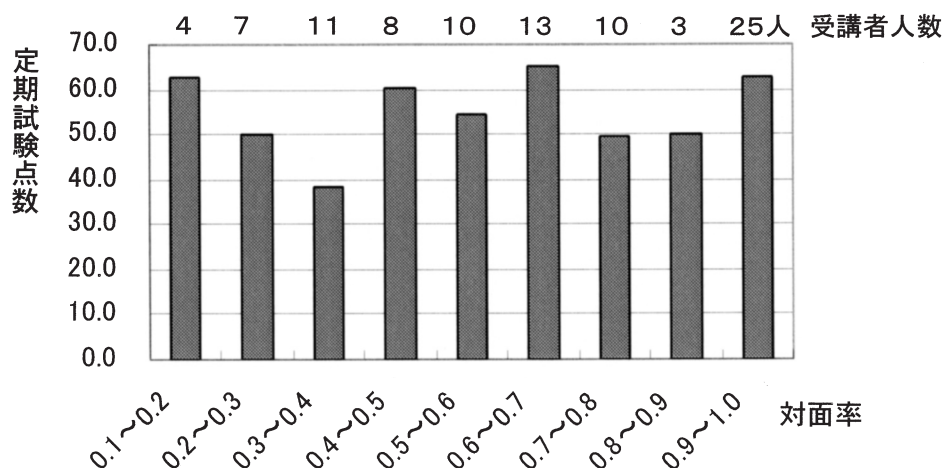


図3. 対面率ごとの平均点

対面率を（対面講義出席回数／全出席回数）と定義して、対面率と定期試験の得点の関係を図3に示す。このグラフは対面率を0.1刻みにグループ化して、それぞれのグループ内の得点の平均点を示したものである。対面率0.1～0.2の平均点と対面率0.9～1.0の平均点が高得点でほぼ同じである。このことは対面講義のみ受講した場合とVODでのみ受講した場合に成績が良く、対面受講とVOD受講で教育効果に差がないことを示している。また、対面率0.3～0.4で得点が低いが、その原因について、今後追求する必要がある。

今回の分析では、非同期双方向のVOD受講は対面受講に比べ同程度の教育効果があることを示唆しているが、さらにデータを集め詳細な分析が必要である。

3. LMS「MOMOTARO」

3.1 システム概要

本システムの機能は(1)受講者管理、(2)科目管理、(3)教材管理・配信、(4)出席管理、(5)課題提出、(6)コミュニケーション機能、(7)セキュリティ管理、(8)ライブ型授業サポート(9)アンケート集計から構成されている。図4はWebシステム(MOMOTARO)の機能構成であり、PHP言語とデータベースMySQLで開発している。

3.2 Web ページ遷移

MOMOTAROのページ遷移を図5に示す。利用者はトップページからID、パスワードの認証でログインできる。ログイン後は科目選択画面となり、IDのユーザ権限によって表示されるページ内容が異なる。受講者はここで科目を選択することで受講科目のページが表示される。管理者ではシステム管理画面からWebシステム全体の管理を行える。講師は担当科目のページにある科目管理画面で科目の管理を行うことができる。

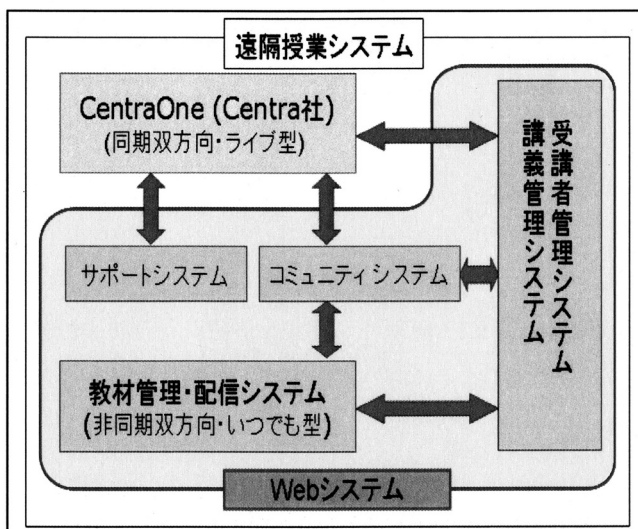


図4. Webシステム (LMS MOMOTARO)

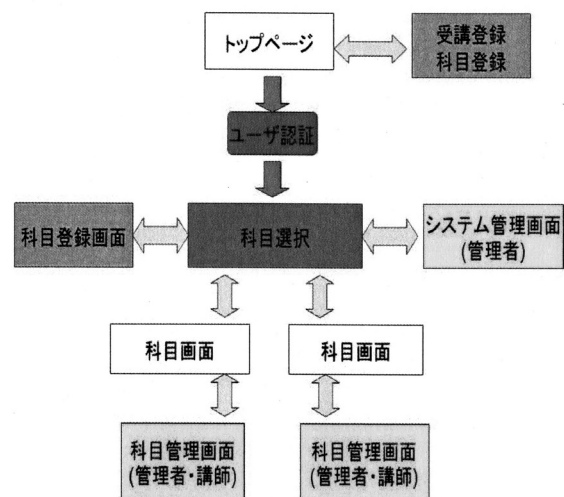


図5. MOMOTARO Web ページ遷移

3.3 受講登録・受講科目登録

MOMOTAROを利用するためには受講登録を行う必要がある。受講登録では、受講者の氏名、所属、学年、学生番号、メールアドレス、パスワードの入力を行う。登録が完了すると7桁のIDがMOMOTAROにより自動的に発行される。受講登録が完了すると受講する科目を登録する必要がある。受講登録可能な科目は各大学の学科別及び高等学校の学年単位別に区分されている。受講科目登録が完了すると科目ページへのログインが行える。図6は科目ページのメイン画面である。

3.4 出席状況・提出物確認

MOMOTARO に出席カードのフォームが作られており、出席カードに入力し送信することで出席としている。出席カードデータはDBに登録され、自動的に出席表に反映されるためリアルタイムに確認することができる。講師は担当科目の全受講者の、受講生は自身の、高校教員は所属高校の受講生の、それぞれの出席状況を確認することができる。受講者は出席確認を図6の科目ページのメイン画面で確認でき、提出されていれば状況の欄に完了と表示されるようになっている。講師は出席確認画面(図7)より受講者全員の出席回数、受講状況、受講形態(ライブ受講かVOD受講)、出席カードの内容、受講者の個人情報の確認ができる。講師の出席管理画面には受講者の自己申告によりライブ型で受講した場合はL、VODで受講した場合はVと表示される。

(1) 出席カードの提出条件

教材学習履歴ログから学習時間を取得し、学習時間がVODの登録時間の80%を越えていなければ出席カードを提出することができないようになっている。複数のVODが登録されている講義では、すべてのVOD学習時間が80%を超えていなければならない。この機能によって、VODを視聴せずに出席カードのみを提出するといった架空出席を防止する一助になっている。

(2) 出席カードの内容確認

出席スタンプのL及びVのマークをクリックすることにより出席カードの内容が別ウィンドウで表示される。確認チェック欄にチェックを記入し確認ボタンを押すことにより確認画面の文字背景色が緑色に変わる。講師はこの着色により、アンケート内容を確認したことを認識できる。

出席状況、出席カードの内容、レポートデータはCSV形式でダウンロードが可能となっており、ローカル環境でのデータ確認もできる。

講義回数	オンデマンド受講	資料	提出物	状況	出席カード提出済回数
1	1 0%	ダウンロード	出席カード	提出済み	完了
2	1 0%	ダウンロード	出席カード	提出済み	完了
3	1 0%	ダウンロード	出席カード	提出済み	完了
4	1 0%	ダウンロード	出席カード	未提出	未提出
5	1 0%	ダウンロード	出席カード	未提出	未提出
6	1 0%	ダウンロード	出席カード	未提出	未提出

図6. 科目のメインページ

科目名	講義回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	出席状況	出席回数	
岡山理科大学	1	L	1	L	1	L	1	L	1	L	1	L	1	L	1	L	1	L	1	L
岡山理科大学	2	L	2	L	2	L	2	L	2	L	2	L	2	L	2	L	2	L	2	L
岡山理科大学	3	L	3	L	3	L	3	L	3	L	3	L	3	L	3	L	3	L	3	L
岡山理科大学	4	L	4	L	4	L	4	L	4	L	4	L	4	L	4	L	4	L	4	L
岡山理科大学	5	L	5	L	5	L	5	L	5	L	5	L	5	L	5	L	5	L	5	L
岡山理科大学	6	L	6	L	6	L	6	L	6	L	6	L	6	L	6	L	6	L	6	L
岡山理科大学	7	L	7	L	7	L	7	L	7	L	7	L	7	L	7	L	7	L	7	L
岡山理科大学	8	L	8	L	8	L	8	L	8	L	8	L	8	L	8	L	8	L	8	L
岡山理科大学	9	L	9	L	9	L	9	L	9	L	9	L	9	L	9	L	9	L	9	L
岡山理科大学	10	L	10	L	10	L	10	L	10	L	10	L	10	L	10	L	10	L	10	L
岡山理科大学	11	L	11	L	11	L	11	L	11	L	11	L	11	L	11	L	11	L	11	L
岡山理科大学	12	L	12	L	12	L	12	L	12	L	12	L	12	L	12	L	12	L	12	L
岡山理科大学	13	L	13	L	13	L	13	L	13	L	13	L	13	L	13	L	13	L	13	L
岡山理科大学	14	L	14	L	14	L	14	L	14	L	14	L	14	L	14	L	14	L	14	L
岡山理科大学	15	L	15	L	15	L	15	L	15	L	15	L	15	L	15	L	15	L	15	L
岡山理科大学	16	L	16	L	16	L	16	L	16	L	16	L	16	L	16	L	16	L	16	L
岡山理科大学	17	L	17	L	17	L	17	L	17	L	17	L	17	L	17	L	17	L	17	L
岡山理科大学	18	L	18	L	18	L	18	L	18	L	18	L	18	L	18	L	18	L	18	L
岡山理科大学	19	L	19	L	19	L	19	L	19	L	19	L	19	L	19	L	19	L	19	L
岡山理科大学	20	L	20	L	20	L	20	L	20	L	20	L	20	L	20	L	20	L	20	L
岡山理科大学	21	L	21	L	21	L	21	L	21	L	21	L	21	L	21	L	21	L	21	L

図7. 講師の出席確認画面

3.5 学習ログ

学習教材へのアクセスログを記録している。ログの内容は、アクセス開始時刻、アクセス終了時刻、ID、IPアドレスである。ログを記録することにより、‘誰が’、‘いつ’、‘どのパソコン’で‘どの教材’にアクセスしたかが確認できる。

3.6 科目管理

(1) 提出物管理

講師は講義の各回ごとに受講生の提出物を設定できる。受講者は各回ごとに要求されている提出物を確認できる。提出物には出席カードとレポートがある。図8は出席カードの入力画面である。架空出席の防止のため、出席カードに学習内容を確認する複数の質問を追加することができる。

レポートの提出はファイルを送信する形式を採用している。この方式では、MOMOTARO上で提出するファイルを指定し、送信することでサーバに保存されMOMOTAROで管理される。

提出物

第2回講義アンケート【第2回 インターネットとは】制限時間: 制限なし 問題数: 4
この講義はLIVEで受講しましたか? (必須)

Yes No

(01) 授業の難易度を選択してください。(易しい1---5難しい)
(アンケート) (必須)

1 2 3 4 5

(02) 新しい発見があれば記述してください。
(アンケート)

(03) 理解できなかった点や質問などがあれば記述してください。
(アンケート)

ページが表示されました

インターネット

図8. 出席カード提出画面

(2) 科目情報管理

講師が受講者に対して科目に関する情報を知らせる「お知らせ」機能があり、科目毎の連絡事項を科目トップページに表示することができる。「お知らせ」に載せる情報の登録・編集は MOMOTARO の科目管理画面から講師とシステム管理者が行うことができる。科目のシラバスは科目ページから閲覧することができ、登録・編集は科目管理画面から行える。

また、出席カードやレポートといった提出物の登録も科目管理画面から行える。出席カードは授業の難易度・感想・内容についての質問などが登録でき、その質問内容は授業回数毎に設定が可能である。それぞれの出席カードに対して提出期限の設定を行うことができる。質問数は 99 個まで任意に設定可能である。質問形式も問題毎に選択形式、自由記述を選択することができる。選択形式では 2~99 拓が可能であり複数選択も可能となっている。また、受講生の理解力を確認できるように配点の設定、正答判定が可能なテスト形式の設問を出題することも可能になっている。選択形式のテストでは自動採点が行われる。レポートの登録では課題テーマを設定できる。

3.7 コミュニティシステム

遠隔授業では受講者間及び講師と受講者間の双方向コミュニケーションの仕組みが必須である。MOMOTARO では、システム全体と科目毎の 2 階層でチャットと質問回答（掲示板）をサポートしている。チャットは主に受講生間でのフリーな会話に使われている。

3.8 セキュリティ管理

セキュリティ確保のため、ID とパスワードによるログイン方式を採用している。ID にはユーザの種類により異なる権限が設定されている。ユーザ権限にはシステム管理者、講師、高校教員、受講生の 4 段階がある(表 1)。高校教員の権限が MOMOTARO の一つの特徴である。A 高校の教員は B 高校の生徒の成績を参照できてはいけない。そのため高校教員が所属する高校の生徒のみを管理できる高校教員権限を設けた。

表 1. ユーザ権限と実行可能機能

ユーザ権限	実行可能機能
システム管理者	システムの管理 全受講者の管理 全科目の管理
講師	担当科目の管理 担当科目全受講生の管理
高校教員	所属高校「受講生」の管理
受講生	教材・VOD 閲覧 出席カード・課題提出 全体及び受講科目のチャット・掲示板投稿

3.9 ライブ型授業サポート

同期双方向のライブ型授業では CentraOne (Centra 社・米国) を使用しているが、契約しているライセンス数によりクライアントの同時接続数が制限される。そのため全受講者個人の意見を一齐に確認することが難しい。この問題を解決するサポート機能を MOMOTARO に付加した。この機能には質問登録・質問提示・解答集計表示がある。講師は事前に質問を MOMOTARO に登録しておく。解答は選択形式である。講義中に質問を提示し、受講生が解答する。解答結果はリアルタイムで集計され、自動的にグラフ表示される。講師はその結果を確認して授業を進めることができる。この機能は受講生を授業に参加させ、集中力を持続させる効果があると考えられる。

4. サーバ(MOMOTARO)のソフトウェア構成

サーバで使用している OS は RedHat Enterprise Linux である。Web サーバは Apache を使用している。MOMOTARO を構築しているスクリプト言語の PHP はモジュールを Apache に組み込むことで動作させている。データベースは MySQL を使用している。表 2 はサーバのソフトウェア構成である。

表 2. サーバソフトウェア

OS	RedHat Enterprise Linux ES 3
Web サーバ	Apache 2.0.46
スクリプト言語	PHP 4.3.2
データベース	MySQL 4.0.24
メールサーバ	Postfix 2.0.11

10. 今後の課題

MOMOTARO について次の課題を検討している。

- (1) 受講生の成績などの評価機能
Web での自動試験と自動採点システムとともに新しい評価方法の検討。
- (2) 受講生の認証機能
現行の ID とパスワード方式では‘なりすまし受講’を阻止できない。新しい方式として、携帯電話を利用した認証方法を検討している。
- (3) システム全体のセキュリティの向上
SSL 対応の実施、及びセキュリティホールの厳重なチェックと改善。

謝辞

本取り組みの推進にあたり、連携高校関係者、岡山理科大関係者、NTT 西・岡山支店関係者のご協力を得ましたことに感謝いたします。また、岡山県情報ハイウェイ、岡山市地域情報水道を利用しており、これらの設置者である岡山県、岡山市に感謝いたします。

参考文献

- [1] 大西荘一, 山本英二, 市田義明, 惣臺聖治
「2. 4GHz 帯無線 LAN によるキャンパス内 どこでも学習 基盤の構築」
岡山理科大学情報処理センター研究報告第 22 号, pp.29-35, 2001 年 3 月
- [2] 大西荘一, 榊原道夫, 市田義明, 堂田周治郎, 山本英二, 惣臺聖治
「インターネット利用遠隔授業による高大連携教育」
岡山理科大学情報処理センター研究報告第 23 号, pp.15-20, 2002 年 3 月
- [3] 大西荘一, 榊原道夫, 橋井幸子, 鶴将幸, 村山真一, 市田義明, 堂田周治郎, 惣臺聖治

- 「インターネット利用遠隔授業による7高校との高大連携教育」
岡山理科大学情報処理センター研究報告第24号, pp11-17, 2003年3月
- [4] 大西荘一, 榊原道夫, 秋山雄亮, 青嶋 智, 田坂仁昭
「インターネットを利用した広域高大連携教育」
岡山理科大学情報処理センター研究報告第26号, pp. 31-37, 2005年3月
- [5] 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年
- [6] 大西荘一 「インターネット遠隔授業による高大連携の広域化」
独立行政法人 日本学生支援機構 大学と学生 Vol. 25, pp21-27, 2006年 3月
- [7] 北川文夫, 大西荘一
「対面講義とe-learning(LMS+VOD) とを併用した講義形式の実践と分析」
日本教育情報学会 論文誌 投稿中 2006年12月
- [8] 橋井幸子, 鶴将幸, 村山真一, 榊原道夫, 大西荘一, 市田義明, 堂田周治郎, 惣臺聖治
「インターネット利用遠隔授業による高大連携教育」
日本教育工学会第19回全国大会論文集, pp. 911-912, 2003年10月
- [9] 青嶋智, 秋山雄亮, 大西荘一, 榊原道夫
「インターネット利用による高大連携の仕組みと評価」
日本教育情報学会第21回年会論文集 pp. 142-145, 2005年8月
- [10] 村山真一, 持田龍也, 橋井幸子, 鶴将幸, 秋山雄亮, 藤本貴壽, 大西荘一, 榊原道夫
「インターネット利用遠隔授業におけるWebシステムの開発」
情報処理学会第66回全国大会論文集 pp. 4-395-396, 2004年3月
- [11] 秋山雄亮, 鶴将幸, 村山真一, 青嶋智, 大西荘一, 榊原道夫
「独立した複数組織の連携教育用Webシステム」
情報処理学会第67回全国大会論文集 pp. 4-447-448, 2005年3月
- [12] 秋山雄亮, 青嶋 智, 大西荘一, 榊原道夫
「広域遠隔授業におけるWebシステムの開発」
日本教育情報学会第21回年会論文集 pp. 236-239, 2005年8月
- [13] 青嶋 智, 大西荘一, 榊原道夫, 河野敏行, 山本敏弘
「加計グループのe-Learningへの取組」
日本教育情報学会第22回年会論文集, pp. 148-149, 2006年8月
- [14] 山本敏弘, 大西荘一, 青嶋智, 榊原道夫, 河野敏行
「広域連携授業に対応したLMS MOMOTARO V4の開発」
日本教育情報学会第22回年会論文集, pp. 130-131, 2006年8月

