

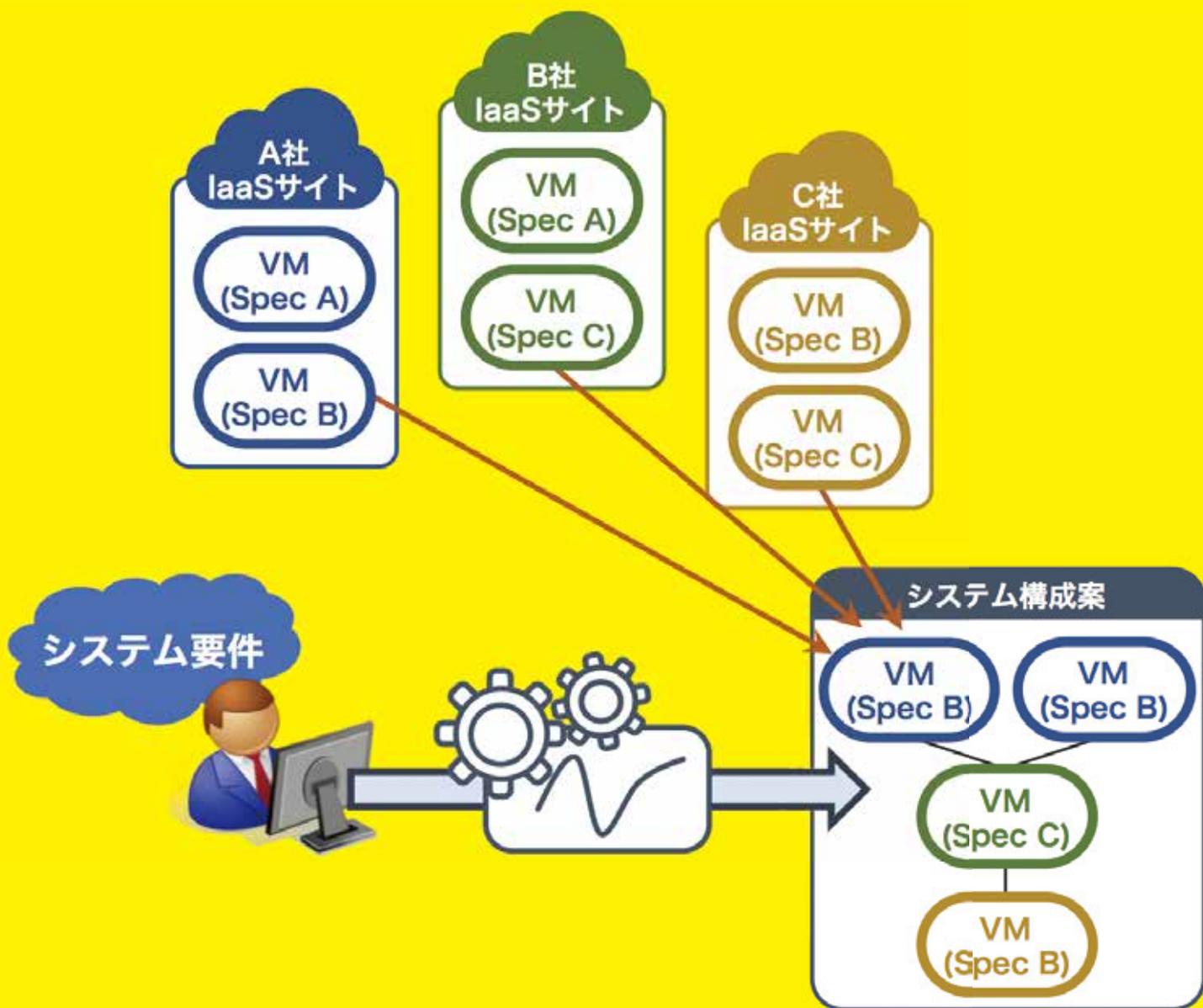


# iC-HPC

北海道大学情報基盤センター大型計算機システムニュース

Hokkaido University

High Performance Computing System Information Initiative Center

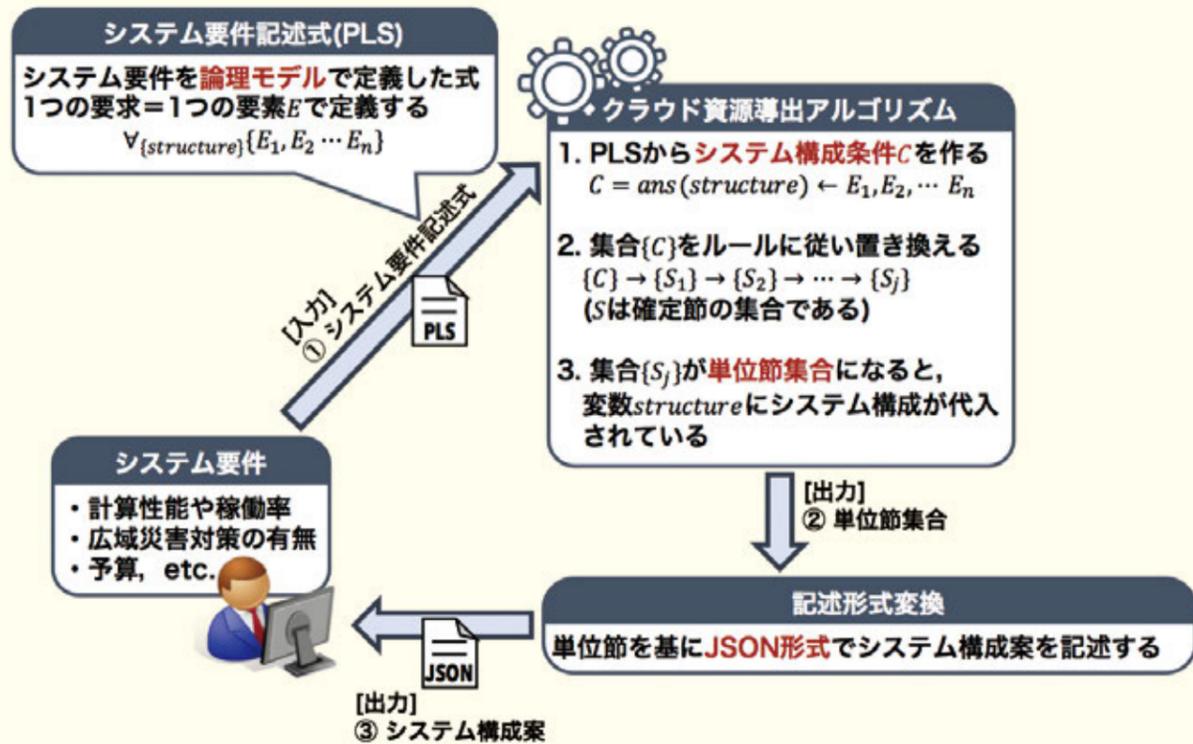


【特集】

2つの異なる人工知能技術を併用した  
新たな問題解決の検討

Vol.  
46

Dec.  
2017



表紙の図は、複数のIaaSサイトからシステム要件に関して適切なパフォーマンスを持つVMを取り出し、それらVMを適切なリージョンに配置しつつインタークラウドシステムの構成要素として展開する全体像を示しています。現在はIaaSのクラウド資源を対象としてクラウド資源選択システムを開発していますが、今後の予定としてSaaSやPaaSも対象となるようにクラウド資源導出アルゴリズムやそのシステムの拡張を検討しています。

上の図は、入力として与えられるシステム要件からシステム構成案が得られるまでの流れを示しています。提案方式の重要点は2つあり、1つはシステム要件を論理式により記述する方式を与えたこと、もう1つはクラウド資源選択の計算を節集合の状態変換と宣言的意味の等価性に基づき実行する方式を与えたことです。この方式により、システム要件を完全に満足するシステム構成案の導出が可能になります。クラウド資源導出アルゴリズムのステップ2の処理において、ルール選択をコントロールすることで、利用者にとって有効なシステム構成案から積極的に探し出すことも可能になります。

### 【用語解説】

- IaaS** : Infrastructure as a Service, 仮想サーバやネットワークなどのインフラを提供するサービス。
- PaaS** : Platform as a Service, アプリケーションソフトウェアを実行するためのハードウェアやオペレーティングシステムなどのプラットフォームを提供するサービス。
- SaaS** : Software as a Service, アプリケーションソフトウェアをインターネット経由で提供したり、利用するためのサービス。
- VM** : Virtual Machine, 仮想マシンを意味し、コンピュータシステムのオペレーションを別のシステムで再現するソフトウェアまたは動作環境。

われわれは、スパコンの現在を考えます。

## Contents

表紙の解説	2	
情報基盤センター大型計算機システムニュース 目次	3	
特集 〈インタビュー〉 「2つの異なる人工知能技術を併用した新たな 問題解決の検討」 ●北見工業大学情報処理センター 講師 三浦克宜 先生	4-9	
連載 スパコン可視化道場 ●番外編 35 「AVS/expressバージョン8.4新機能: 背景テキストとタイトルロゴの表示」	10-13	
連載 スパコンInfo. ●第9回学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点シンポジウムを開催 ●COMSOLマルチフィジックス利用講習会を開催 ●Sapporo Summer HPC Seminar 2017を開催 ●CloudWeek2017@Hokkaido Universityを開催 ●Supercomputing Conference 2017(SC17) 参加報告	14-15	
学際大規模計算機システム 次期システム導入時期の変更等について	18-19	

—本日は北見工業大学情報処理センター講師をされている三浦先生のところにお邪魔しています。よろしくお願いいたします。

三浦 よろしくおしいたします。

—まず、三浦先生のご研究の内容についてお教えいただけますか？

三浦 はい。現在は主にクラウド関係の研究に従事していますが、博士後期課程の研究ではプログラム合成の研究に従事していました。節集合として問題記述が与えられたとき、その問題記述を基にプログラムを自動的に生成するという研究です。この研究において、ある問題に対して数学的に正しく答えを出すための考え方が鍛えられました。

その研究で得た考え方は幅広く応用が利きまして、現在、IaaSを主な対象としたクラウド資源選択方式の確立に関する研究に従事しています。ご存知の通り、IaaSとして提供されるクラウド資源は仮想マシンです。その研究では、システム全体の計算性能や稼働率、広域災害対策の有無、予算規模などをシステム要件として与えると、システムの構成要素として適切なマシンパワーを導き出し、そのマシンパワーと同等のAmazon EC2やMicrosoft Azure上のインスタンスを決定するというを行っています。

適切なマシンパワーを決定する方式をどのようにして確立しようかと考えたとき、私は、昔ながらの人工知能技術である宣言型プログラミングによる問題解決方式と近年の人工知能技術であるGA (Genetic Algorithm) による問題解決方式の2つをうまく掛け合わせて、クラウド資源選択方式が作れないかと考えました。

—2つの手法を組み合わせるのでしょうか？

三浦 将棋や画像解析、テキストマイニングなどの多くの問題解決の場面でGAが幅広く活用されていますし、GAは強力な枠組みなので、GAだけでクラウド資源選択方式を作り出すことも可能かと思えます。今流行りの人工知能技術で十分やっていると、何故、昔ながらの人工知能技術を使っているのか？

私の考え方としては、人間はある質問に対して答えを出すとき、基本的には自身がこれまで得てきた知識や技術を基にして答えを出すと思えますが、少し複雑な質問が与えられたときには、周りの人に相談して客観的な意見を参考にして答えを出すと思うのです。

近年のクラウドでは、様々なタイプの仮想マシンやストレージ等、数十種類以上のコンポーネントが提供されており、それらを適切に選択し、組み合わせてサービスを構築することが必要です。しかしながら、現状では多くの場合、現場の経験や勘に頼ってシステム構築が行われています。理論や計算に基づく、より学術的なアプローチは可能なのでしょうか？

北見工業大学の三浦克宜先生に新たな問題解決手法について語っていただきます。

# Interview with K. MIURA

北見工業大学情報処理センター 講師

三浦克宜 先生 インタビュー

## 2つの異なる人工知能技術を併用した 新たな問題解決の検討

例えば、「自分はこのように考えましたがどうでしょうか?」とか、「この答えって、いいですか?悪いですか?」みたいに、人間は自身で出した答えと周りの人から得た答えをうまくミックスして最終的な答えを出すと考えたときに、色々な問題解決方式をミックスした計算体系を作ったら面白いし、重要ではないか?と考えました。そして、宣言型プログラミングによる問題解決方式だけとか、GAによる問題解決方式だけとかでは、実世界の問題に対抗する問題解決方式を確立するのは難しいだろうと考えました。また、いくつかの技術を混ぜ合わせることで、より良い問題解決方式が確立できるのではないかと考えました。

混ぜ合わせて良いとこ取りをしたいと言いましたが、良いとこ取りの部分を言葉にするのが難しいので、ホワイトボードに書いても大丈夫ですか?

——写真を撮影しますので、ホワイトボードをお使い頂いて構いません。

**三浦** 昔ながらの人工知能技術を「宣言的」と書いて、近年の人工知能技術を「GA」と書きます(図1(a))。それぞれの特徴を説明するならば、「宣言的」は、質問に対して答えを導き出したとき、その答えの正しさが保証されるという特徴(解の正当性)があり、「GA」は、質問に対して複数の答えが存在するときに、その中から状況に合った最適な答えを見つけ出せるという特徴(解の最適性)があります。

——解の正当性と最適性の両方を考慮するのでしょうか?

**三浦** 宣言型プログラミングでは、質問の背景知識を数式で定義して、その数式を基にして答えを導き出すので、その背景知識が正しいという前提の下で、得られる答えは常に質問に対して正当な答えを出します。つまり、解の正当性を満たします。

GAでは、例えば「20万円渡すので、何か良いコンピュータを提案してください」と質問したときに、「21万円で1万円オーバーするけど、これは最適なコン

ピュータですよ」という答えを出したりします。予算や性能などのトレードオフ関係の下で答えを導き出すので、本当は20万円という予算を超えてはいけないのに、20万円前後だから大丈夫というように答えを出してきます。つまり、GAは最適な答えは導き出すが、条件を満足する答えを常に出すわけではないということが分かります。

最適な解を出すという観点から宣言型プログラミングを見たとき、宣言型プログラミングは、全部で100個答えがあったら100個答えがありましたと出力しますが、その100個を順位付けすることはできません。何故かという、背景知識に対して制約条件を満たす答えを出したのだから、どれを選んでもあなたは満足するだろうと言うのが宣言型プログラミングなのです。例えば、「1年かけて北見から札幌に行く手段を教えてください」と質問したとき、答えとして、歩いてくださいとか、バスに乗ってくださいとか、JRに乗ってください、飛行機に乗ってくださいとか色々出てきます。「1年かけて北見から札幌に行く」という制約条件はどれも満たすので、どれを選択しても良いと思います。しかし、人間は、やはり楽をしたい生き物だと思うので、その中で楽に行ける方が良いと考えます。そうすると、歩くという選択肢はまず消えると思います。そして、早く行きたいとか考えたりするので、飛行機かなと考えていきます。それでは、全部を制約として最初に与えたら良いじゃないかと思うかもしれませんが、きちんと全ての制約を考えるのも非常に難しい事なのです。つまり、与えた制約条件は満たしつつも、その中でより良い手段はどれなのかを見つけなくなってしまう。宣言型プログラミングは制約条件を満たす解は出せるけど、最適解を見つけることができません。一方、GAは、目的関数を基にして最適な解を出すことができるけど、制約条件に関する正しさは保証できません。

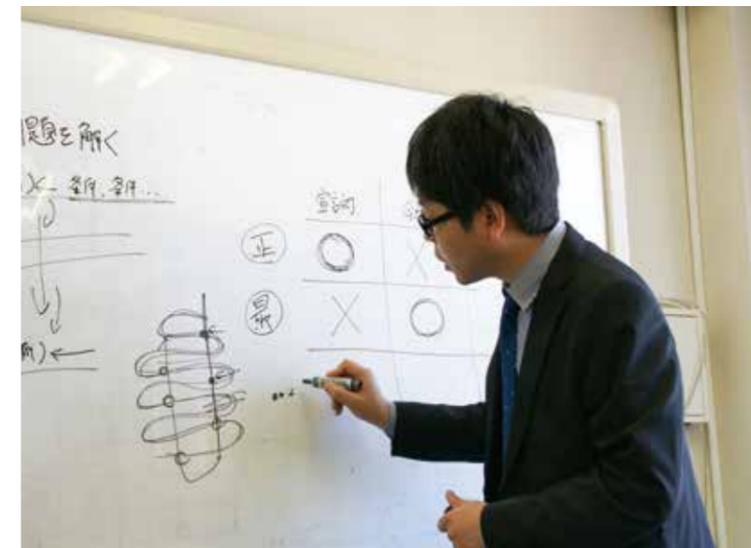
——両方のアプローチの利点と欠点が出揃いました。

**三浦** 質問に対して正しくて最適な答えを出すためには、もうこれを見てももらえれば一目瞭然な訳です。「宣

言的」は「正当性」が丸になり、「GA」は「最適性」が丸になっているので、これらをうまく組み合わせれば良いじゃないか?となります。何か別の新しいアプローチが見つめ出されて、両方が丸となるものがあるのなら、それで良いかもしれないけど、都合よく両方も丸となるアプローチは簡単には作り出せないと思いますので、私は、宣言型プログラミングとGAを組み合わせた問題解決方式を作ろうということになりました。

それでは、どうやってこれらを組み合わせるのかという話です。例えば、宣言型プログラミングが足し算と引き算だけで計算する世界で、GAが掛け算と割り算だけで計算する世界としたら、それらを組み合わせるのは簡単です。しかし、宣言型プログラミングとGAは、思考パターンが異なるというか、問題解決のアプローチが一致しないというか、これらを混ぜ合わせるのは結構難しいです。そこで、問題を解くプロセスを定義し、そのプロセスをお互いが助ける枠組みにしました。

私の問題解決方式では質問を論理式で書き、問題を解く段階で確定節に式変換します(図1(b)、図2)。確定節の右辺の部分に制約条件が並びます。制約条件を満たすように具体的な値を当てはめていき、最終的にこの条件が全部なくなるように計算を進めていきます。最終的に単位節を取り出すことが目的となります。宣言型プログラミングは答えが100個あったら、100個を見つける操作をする訳なので、100個の中で最適だと思われる答えを順番に探していくようにコン



トロールします。GAはこの辿り方のコントロールを行います(図1(c))。

何故GAでコントロールするか?と言うと、答えを見つけるための計算には正しさが保証されている必要があるため、この辿るといふ仕組みは宣言型プログラミングします。宣言型プログラミングは辿り方が下手なので、GAにより辿り方をコントロールします。答えが10個や100個など少ない場合には、そのコントロールが計算負荷になる可能性があります。クラウド資源選択においては、答えが数百となることが多いため、GAによるコントロールは効果を発揮します。また、この方式は答えを全部出すことを目指していません。例えば、答えが100個あるとき、人間は100個の答えを全部欲しいでしょうか。私は正しくて良い答えをサッと出してくれれば満足します。先ほどの話にありました、「1年かけて北見から札幌に行く手段」を求める問題において、最初に飛行機とかJRとかの手段が出てきたら、歩くとか走る等が答えにあったとしても、それは別に聞かなくてもいいと思いませんか?だから、この方式は幾つかの正しくて良い答えが出てきたら、あとプラスαで何かありますみたいな感じで計算します。当然プラスαの部分が知りたいとなった場合には、その部分を導き出すことも可能です。

——お話をお聞きしていると、複雑でも目新しいアプローチのように感じます。

**三浦** そんなに複雑なことを考えている

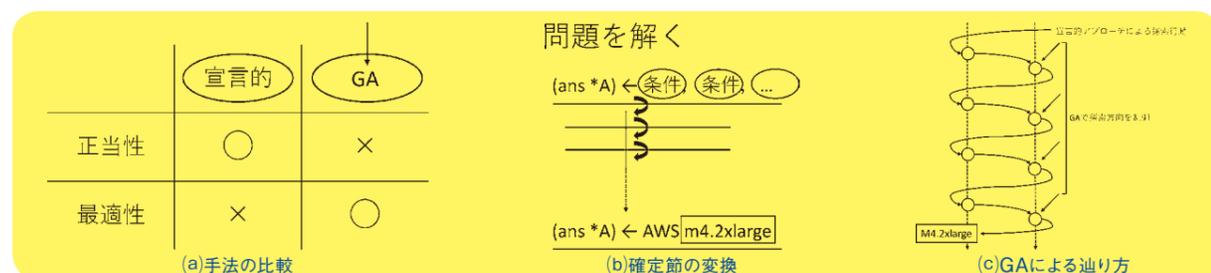


図1: ホワイトボードへの記述内容

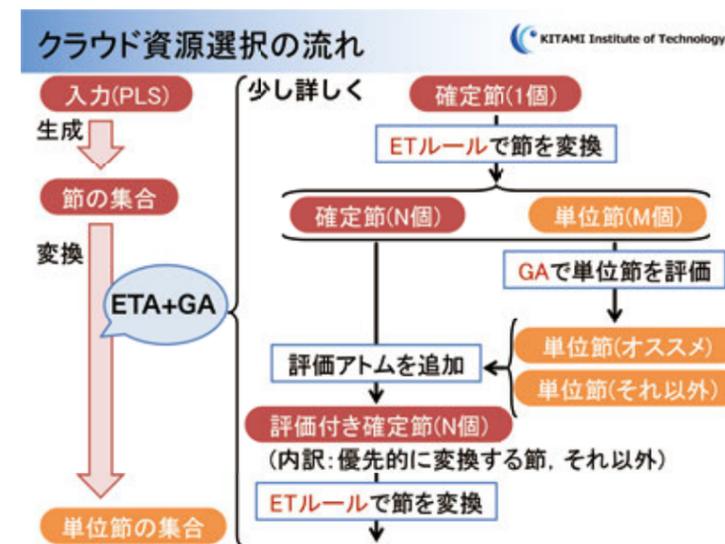


図2: クラウド資源選択の全体像

## PROFILE



## 三浦克宜

Katsunori MIURA

北見工業大学情報処理センター 講師

2009年北海道大学情報科学研究科博士後期課程修了。

博士（情報科学）

2012年北見工業大学情報処理センター講師、現在に至る。  
プログラム合成方式、クラウドプロケージ方式、ウェブアプリケーションシステム開発に関する研究に従事する。

つもりはないので、この考え方は誰でも普通に思いつくかなと思います。それでは、何故今まで誰もやっていないのか?と私なりに考えると、宣言型プログラミングのアプローチを扱える人材がほぼいないに等しいのではないかなと思います。宣言型プログラミングが流行っていた当時は、証明問題などを扱っていたと思うのですが、多分、ほとんどが机上で済んでしまう範囲だったから、理論が確立したからもうやめようとなったのではないですかね。宣言型プログラミングは、沢山の計算リソースが必要なイメージがあるのですが、当時は自由に使える計算リソースが十分でないと思いますし...

ただ、近いうちに宣言型の考え方の良さが再確認されて、研究者が増えてくると思うので、そうなったときには、今自分が話しているような宣言型プログラミングとGAを混ぜ合わせた方式みたいなものが、どんどん出てくるかなと考えています。

## ——この手法をクラウドに応用されました。

三浦 この方式を何に応用しようかと考えて、近年のクラウドサービスの多様化と普及を見たときに、クラウド資源選択に応用するのが面白いだろうと考えました。例えば、システム全体の計算性能や稼働率はどのくらいだとか、予算上限はどのくらいとか、日本国内のデータセンター上で動かしたい等の要求を基に、「それらを満たすようなインスタンス構成は何か?」と質問されたときに、「AWSのm4.2xlargeの2台構成ですね」という答えを出すようなシステムを開発しています。北海道大学アカデミッククラウドには、パッケージとしてS・M・L・XLがあったと思いますが、どのパッケージが適切なのかを判別するために、開発したシステムを使うことができると思いますし、利用者にも喜ばれるかなと思います。

## ——成果をSC17 (Supercomputing Conference 2017) でご発表されるとお聞きしました。SC17での発表はどのような内容ですか?

三浦 SC17では、宣言型プログラミングの解を探すときの辿り方が賢くないので、その辿り方にGAをうまく使って、正しくて最適な答えをなるべく早く見つけ出すにはどうしたら良いかを話します。本方式は、SC17のレビューからも好評価をもらいました。「今後、いろいろな問題解決の手法を組み合わせるとするのは必要になってくるから、こういうアプローチは好きですね」と言ってくれたレビューもありました。

——少し前にも、深層学習でニューラルネットワークが復権したということがありました。昔のアプローチが再び注目されるということが、最近によくあります。

三浦 私は多いと思っています。使えないアプローチだからやめたのではなく、計算量がすごく多くて、計算資源が沢山必要だから、渋々やめたんだと私は思っています。だからクラウド時代である今日において、計算資源は山のようにあるので、昔のアプローチが日の目を見る時代なんだと思います。

## ——ただ、続けていた人が少ないという...

三浦 そうですね。計算資源の手助けと言う意味では、北海道大学アカデミッククラウドは必要なときに必要なだけ使わせてもらえるので、そのような研究者にとっては、すごく助かると思っています。その他にもSINETが100 Gbpsになったので、そうなる、私自身仮想化基盤システムを構築していますが、自身のところの仮想マシンと北海道大学の仮想マシンを、例えばVPNで連携して、並列計算できるようにして、自分だけじゃ作れなかった大規模な計算パワーを持った環境を作るといこともできると思います。クラウドとネットワークの連携というのは、大規模な実験環境が欲しかったけど、様々な理由で構築できなかった研究者たちにとって助けになると、自分は考えています。

## ——三浦先生の研究成果を使用して、実際に助かったりとか、新しい発見があったりしたというものはあるのでしょうか?

三浦 例えば、あるビックデータ解析ツールを展開するシステムの構成要素となる仮想マシンを探し出すという問題を考えてもらっていいですか。構成要素として、安価だけど計算性能が低い仮想マシンを使った場合、解析時間は沢山掛かるけど、計算性能が高いが高価な仮想マシンを使うよりも良いという答えもあるかなと、私は思っていました。しかし、実はそんなことはなくて、結局、高価で計算性能が高い仮想マシンを使った方が、解析時間が短くて、仮想マシンの利用料金も安くなるのです。この話は、今年9月に北海道大学学術交流会館で開催されたCloudWeek2017の際にも示させていただきました。

## ——研究成果を民間に応用したり、共同研究等、アウトプットについてはどうお考えでしょうか?

三浦 この研究成果を民間で使って頂けるのであれば、それはとてもありがたいことだと思っております。これまでも北海道大学情報基盤センターの棟朝雅晴教授にお声がけを頂いて、企業の方と共同研究を実施させて頂いたことがあります。そのため、Sler系の方やメーカー系の方等、何かの折に、私の研究室にお越し頂いた際には、この研究の話をして頂いています。

## ——最後に、今後、クラウドや情報システムはどういう世界になるとお考えでしょうか?

三浦 今現在、クラウドサービスが無数にあり、クラウドサービスを使う準備が整った時代になったと思っています。そんな中において、今、何に困っているかと考えると、自分に合ったクラウドサービスを選ぶのはどうしたらいいとか、自分に合った計算環境をどう作ったらいいとかで困っているのではないかと思います。

次に私たちがやらなくてはいけないのは、コンピュータに詳しくない人も含めた利用者が、自身が望む計算環境を低コストで作り出せるような仕組みや、方式や、方法論等が重要になると思います。

あともう一つ重要なのは、例えば、CentOSで仮想マシンを立てたときを考えて欲しいのですが、CentOSの中には要らないソフトウェアが沢山インストールされていると思うのです。必要のないパッケージを削れば、もっとメモリを節約できると思うので、うまいこと、そのパッケージをカスタマイズすることもサポートできるような仕組みが必要なのかなと考えます。

## ——その中で三浦先生のご研究が役に立つところは?

三浦 そうですね。今、自分が考えている方式自体は問題解決をするための基礎的な方法論なので、問題があって、それを解きたいという要望があれば、それに対して応用的に使うことはできると思っています。実際に、何に使えるということ言うのは難しいんですけども。ただ一つ言えることは、世の中には、問題が沢山あって、その問題を解かなくてはならないというシチュエーションは沢山あると思うので、どこかで役立てることはできるのではないかと考えています。

## ——本日は貴重なお話、有難うございました。

三浦 有難うございました。

知って得する!!

第42回

# スパコンアカデミー

## 反復型ステンシル計算と時空間タイリング: キャッシュメモリ活用のための高性能計算技法の紹介

情報基盤センタースーパーコンピューティング研究部門 深谷 猛

前回(第41回)のスパコンアカデミーで、Powerアーキテクチャからx86アーキテクチャへの移行において、キャッシュ・チューニングが重要であることが紹介されています。近年の計算機アーキテクチャの傾向として、CPUの演算性能(理論ピークFLOPS値)に対して、相対的にメモリアクセス性能(メモリバンド幅)が低下しています。また、CPUに搭載されるコアが増加しているため、コア当たりが利用できるメモリバンド幅という意味では、さらに低下しています。そのため、前回の記事に代表される、キャッシュメモリを有効活用する技法は、アプリケーションプログラムを高性能化する上で必要不可欠となっています。

今回の記事では、アプリケーションプログラムにおける代表的な計算パターン的一种である「反復型ステンシル計算」に対して、メモリアクセスコストを削減し、キャッシュメモリの利用効率を向上させる、「時空間タイリング」と呼ばれる技法を紹介いたします。以下では、具体的な事例を用いて、反復型ステンシル計算の特徴を述べた後、時空間タイリングの基本的なアイデアを説明します。更に、最新のマルチコアCPU上で行った性能評価の事例についても紹介いたします。

### 反復型ステンシル計算

反復型ステンシル計算とは、「ステンシル計算」と呼ばれる計算を繰り返す処理のことです。そこで、最初に、ステンシル計算について簡単に説明します。

ステンシル(stencil)とは、「型版」などを意味し

ますが、その名の通り、「ある規則(型)」に従って、配列の要素を更新する計算をステンシル計算と呼びます。例えば、2次元の熱伝導方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} u(x, y, t) = \alpha \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) u(x, y, t)$$

に関して、数値シミュレーションを行う場合を考えます。数値計算を行うために、空間方向に中心差分、時間方向に前進差分を用いて、上記の式を離散化します。すると、

$$\frac{u_{i,j}^{(n+1)} - u_{i,j}^{(n)}}{(\Delta t)^2} = \alpha \left\{ \frac{u_{i+1,j}^{(n)} - 2u_{i,j}^{(n)} + u_{i-1,j}^{(n)}}{(\Delta x)^2} + \frac{u_{i,j+1}^{(n)} - 2u_{i,j}^{(n)} + u_{i,j-1}^{(n)}}{(\Delta y)^2} \right\}$$

という数値計算スキームが得られます。ここで、上付き添え字はタイムステップ、下付き添え字は空間(格子点)の位置(図1を参照)に対応します。図1から分かるように、上記の更新式では、ある点の値  $u_{i,j}^{(n+1)}$  を更新する際に、その点と周囲の4点の、タイムステップ  $n$  における値を用いることになります。そして、この規則は格子点の位置に関わらず同一です。この例のような計算をステンシル計算と呼び、その点と周囲の点の計5点を使うというルールを「(2次元)5点ステンシル」と呼びます。

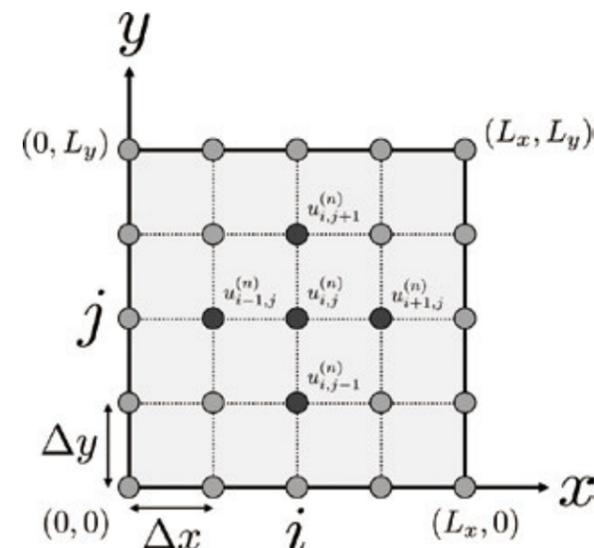


図1.空間の離散化の様子

今回の熱伝導方程式のシミュレーションの例のように、各タイムステップでステンシル計算を行う場合が多々あります。これを総称して、反復型ステンシル計算と呼びます。上記の2次元5点ステンシルの場合を例にして、反復型ステンシル計算のプログラムを素直に実装した例を図2に示します。なお、図2では、簡単のため、 $\Delta x = \Delta y$ としています。また、 $u$ に関して、ダブルバッファリングと呼ばれる手法を用いています。

```
for(t = 0; t < T; t++){
  for(x = 1; x < NX; x++){
    for(y = 1; y < NY; y++){
      u[(t+1)%2][x][y] = w1*u[t%2][x][y]
                      + w2*(u[t%2][x+1][y]+u[t%2][x-1][y]
                      + u[t%2][x][y+1]+u[t%2][x][y-1])
    }
  }
}
```

図2.2次元5点型の反復型ステンシル計算の素直な実装例

図2のプログラムを例にして、反復型ステンシル計算の性能を簡単に説明します。図2の実装では、各タイムステップで配列  $u$  の全ての要素を更新します。したがって、配列  $u$  (問題サイズ) が小さい場合を除いて、タイムステップをまたいで、 $u$  のデータがキャッシュメモリ上に存在することは一般的にあり得ません。つまり、各タイムステップで、 $u$  のデータに関して、メインメモリへのアクセスが必要になります。さて、図2の最内ループにおいて必要となる  $u$  のデータは6個になります。一方、そのデータを使って行う演算は6回となっています。すなわち、1演算当たり、1個のdouble型のデータ(8byte)が必要な状況です。しかしながら、現在の計算機では、メモリアクセス性能と演算性能の比(byte/flop値)が非常に小さく(1.0以下であることも多い)、そのため、図2のようなプログラムでは、計算機の演算性能ではなく、メモリアクセス性能(実効メモリバンド幅)にプログラムの性能が律速されます。そのため、プログラムのメモリアクセスコストを軽減する手法が重要になります。

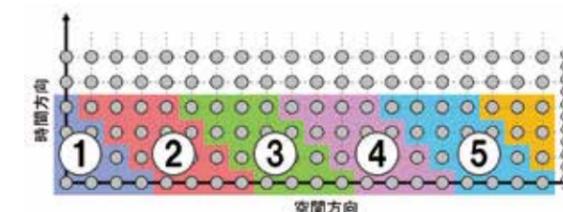
### 時空間タイリングの基本

メインメモリへのアクセスコストを軽減するためには、データの再利用性を向上させ、キャッシュメモリを有効利用することが必要になります。データの再利用性を高めるためには、限られた範囲のデータに対して、より多数の計算を行う必要があります。反復型ステンシル計算の場合、理想的には、ある範囲の  $u$  のデータのみを繰り返し更新すれば良いのですが、データ間に依存関係があるため、それを維持することが求められます。そこで、データ間の依存関係を保ちながら、限られた範囲内の  $u$  のデータを複数タイムステップ分更新する手法として、時空間タイリングが研究されています。以下では、最もシンプルな1次元3点ステンシル

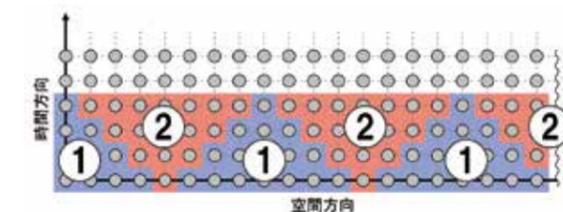
$$\frac{u_i^{(n+1)} - u_i^{(n)}}{(\Delta t)^2} = \alpha \frac{u_{i+1}^{(n)} - 2u_i^{(n)} + u_{i-1}^{(n)}}{(\Delta x)^2}$$

の場合を例にして、時空間タイリングの基本的なアイデアを紹介いたします。

時空間タイリングは、多段ループ(今回の場合は時間と空間のループ)における反復空間を小さい領域(タイル)に分割し、領域内のみを計算することで、データ参照の局所性を向上させる手法の一種です。ただし、本節の冒頭で述べたように、データ間の依存関係を担保する必要があります。そこで、上記の1次元3点ステンシルに対して、データの依存関係を保ちつつ、冗長計算を必要としないタイリングの方法(タイルへの分割方法)として、図3に示した2種類(平行四辺形型とダイヤモンド型)のタイリングが知られています。図3の番号のように、平行四辺形型の場合は、片方の端のタイルから順番に、ダイヤモンド型の場合



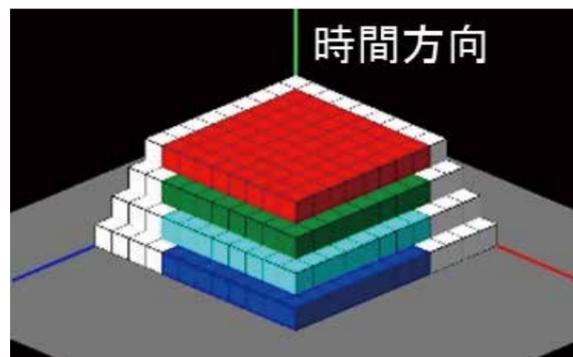
(a)平行四辺形型



(b)ダイヤモンド型

図3.1次元3点ステンシルに対する時空間タイリング

は山型、谷型の順番に、タイル内のみを一定タイムステップ分更新することが可能となっています。このような形で計算を進めることで、データ参照の局所性を向上させ、キャッシュメモリを有効利用することが出来ます。なお、並列処理の観点では、平行四辺形型の場合は、タイル同士は逐次的に処理する必要がありますが、ダイヤモンド型の場合には、山型（谷型）のタイル同士を同時に処理（タイルレベルで並列処理）することが可能であるといえます。



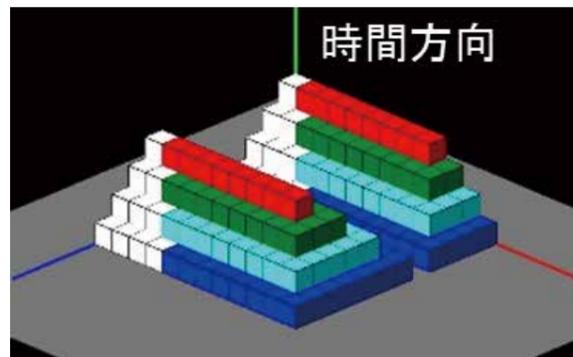
(a)平行四辺形型×平行四辺形型

## 多次元の場合に対する時空間タイリング

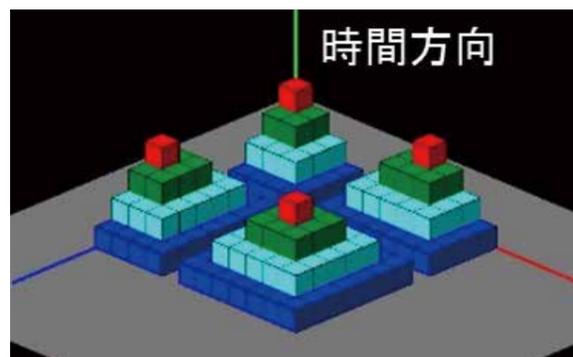
次に、空間が多次元の場合に対する時空間タイリングの手法を紹介します。ステンシルの形状にも依存しますが、基本的には、空間が1次元の場合のタイリングの手法を組み合わせることで、空間が2次元以上の場合にも、時空間タイリングを行うことができます。以下では、2次元5点ステンシルの場合を例に、これを説明します。

2次元5点ステンシルの場合、2つの空間方向それぞれについて、平行四辺形型とダイヤモンド型のどちらかを選ぶことになります。図4に、それぞれの組み合わせ方に対応したタイリングの様子を示します。なお、緑色の軸が時間方向、青色と赤色の軸が空間方向になります。例えば、両方の空間方向にダイヤモンド型を選択した場合、図4(c)に示したタイルを最初に処理した後、図5(a)から(c)の順番に、各形状のタイルを処理することになります。

このように、各空間方向におけるタイリングの方法によって、タイルの形状と必要になるタイルの種類が異なります。例えば、図4(a)の場合はタイルの形状は1種類、図4(b)の場合は2種類、図4(c)の場合は4種類となります。また、タイル同士の依存関係も異なります。例えば、図4(a)の場合、タイル同士の依存関係が非常に強いですが、図4(b)や(c)の場合、ダイヤモンド型タイルに関する部分でタイル同士を並列に処理することが可能となります。



(b)ダイヤモンド型×平行四辺形型

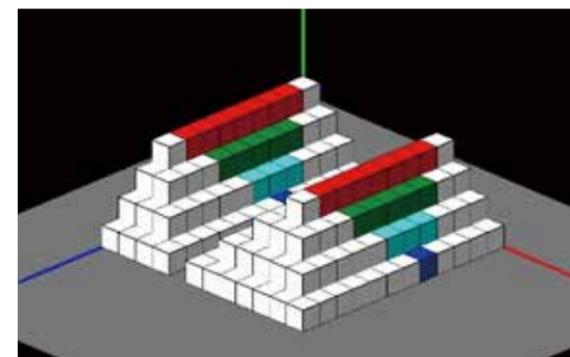


(c)ダイヤモンド型×ダイヤモンド型

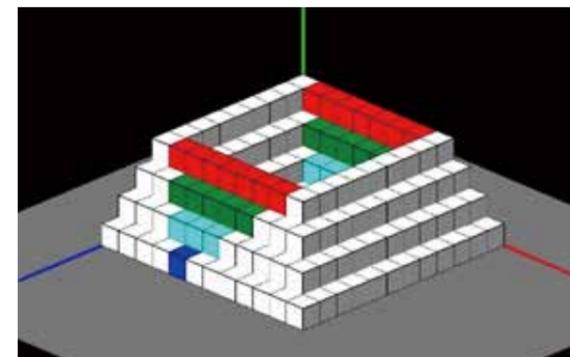
図4. 2次元5点ステンシルに対する時空間タイリング

数を変化させたときの各実装の性能（FLOPS値）を図6に示します。なお、どの実装も演算量は同一であるため、図6のグラフでFLOPS値が高くなるほど、実行時間の意味では短くなります。

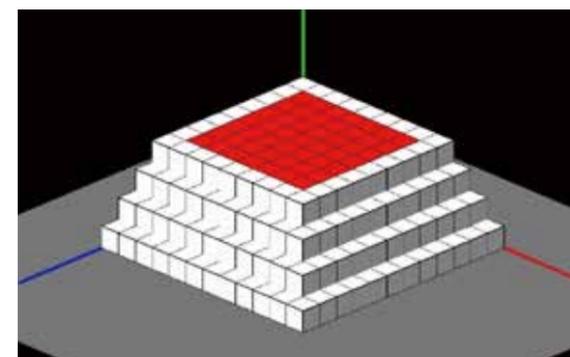
図6を見ると、素直な実装では、スレッド数を増やしても性能が停滞していることが確認できます。これは、CPUの実効メモリバンド幅の限界に達したことが原因です。それに対して、時空間タイリングを施した3種類の実装は、素直な実装よりも性能が向上しており、時空間タイリングの効果を確認することができます。特に、ダイヤモンド型を採用した2種類は、スレッド数に対して良く性能が向上しています。これらの手法は、ダイヤモンド型のタイリングに伴い、タイルレベルでスレッド並列化が可能となるため、タイル内部を



(a)ステップ2



(b)ステップ3



(c)ステップ4

図5. ダイヤモンド型×ダイヤモンド型の場合の処理の様子（ステップ1は図4(c)に対応）

スレッド並列化した平行四辺形型のみ的手法よりも性能が良くなっています。

## おわりに

今回の記事では、科学技術計算によく出現する計算パターンの一つである反復型ステンシル計算に対して、メモリアクセスコストを軽減させることで性能を向上させる、時空間タイリングと呼ばれる手法を紹介しました。図6に示した結果を踏まえると、今後は特に、マルチコア・メニーコアCPUの多数のコアの活用に適した、ダイヤモンド型のタイリングに基づく時空間タイリングが重要になると考えられます。時空間タイ

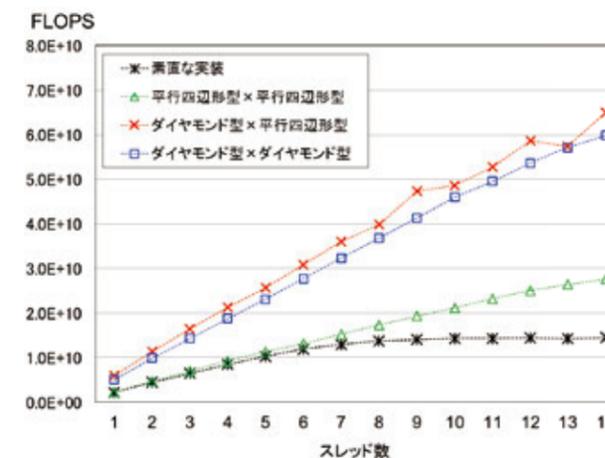


図6. 2次元5点型の反復型ステンシル計算に対する時空間タイリングの効果

リングについてより詳しく知りたい読者の方は参考文献 [1] や [2] 等を参照してください。また、今回の記事では、シンプルなステンシルを例に説明しましたが、我々の研究グループでは、より実アプリケーションに近い場合として、電磁場解析の代表的手法である3次元のFDTD法に対する時空間タイリングの研究を行っています。こちらに興味のある方は参考文献 [3] や [4] を参照ください。

最後に余談ですが、タイリングの研究は参考文献 [5] などに端を発しています。今回、スパコン分野の最高峰の国際会議であるSC17において、この論文が「Test of Time Award」を受賞しました。この賞は、今日の高性能計算（HPC）分野に多大な影響を与えた過去の論文（10年以上前に出版された論文が対象）に与えられる賞であり、今回の受賞は、本記事で紹介した時空間タイリングをはじめとする「タイリング」が現在の高性能計算において不可欠な技術となっていることを深く印象付けるものでした。

### 参考文献

- [1] D. Orizco et al., Locality optimization of stencil applications using data dependency graph, LCPC 10, pp. 77-91, 2011.
- [2] X. Zhou, Tiling optimization for stencil computations, Ph.D. Dissertation, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, 2013.
- [3] 深谷猛, 岩下武史, タイルレベルの並列処理を可能とする時空間タイリングを用いた3次元FDTDカーネルの実装と性能評価, 情報処理学会研究報告 (HPC), Vol. 2017-HPC-160, pp. 1-11, 2017.
- [4] T. Fukaya and T. Iwashita, Time-space tiling with tile-level parallelism for the 3D FDTD method, HPC Asia 2018, 2018 (accepted).
- [5] M. Wilfe, More iteration space tiling, SC'89, pp. 655-664, 1989.

# スパコン可視化道場

本センター学際大規模計算機システムで利用サービスを行っているAVS/expressの最新バージョン8.4が2017年7月にリリースされました。これを受けて、新バージョンの学内ユーザ向けダウンロードサービスを、2017年10月16日(月)から開始しています。新バージョンでは、既存の可視化モジュールの改良や強化が行われたことに加え、(1)PhasedArray (気象可視化) ライブラリ、(2)テクスチャ付きOBJファイルの読み込み、(3)3Dプリンタ向けカラー付き形状データの入出力機能、(4)分子模型に対するライン長によるしきい値設定機能、(5)極座標変換機能、(6)背景テクスチャおよびタイトルロゴの表示などの新機能が追加されています。これら新機能はいずれもAVS/express利用者からの要望を実現したものであり、皆様方にとっても利用してみたいと思われていた機能ではないかと思います。本連載記事においては、これら新機能を順次紹介しますので、ご期待ください。今回は「背景テクスチャとタイトルロゴの表示」について解説します。

番外編 35

## AVS/expressバージョン8.4新機能: 背景テクスチャとタイトルロゴの表示

### 背景テクスチャとタイトルロゴの準備

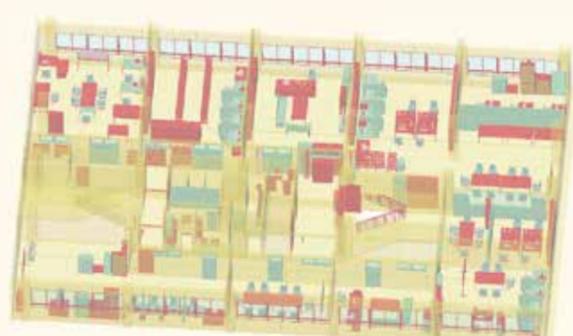
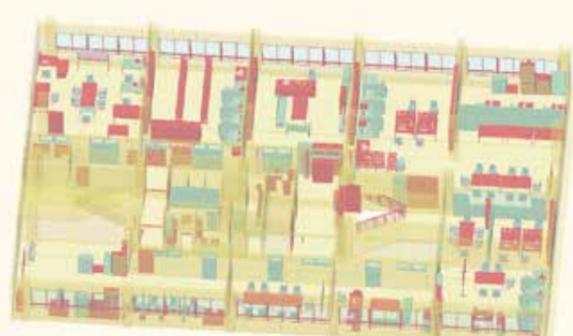
初めに、背景およびタイトルロゴとして使用する画像を作成します。例えば、およびのような画像を作成します。読み込み可能な画像フォーマットはJPEG、GIF、PNGなどです。に示す背景画像は、CADソフトウェアで作成した数値シミュレーション解析対象の鳥瞰図で、画像の明度を上げるなどの加工を行うことで、背景として利用できるようにしました。一方、はタイトルロゴで、本誌タイトルに基づいて作成しました。

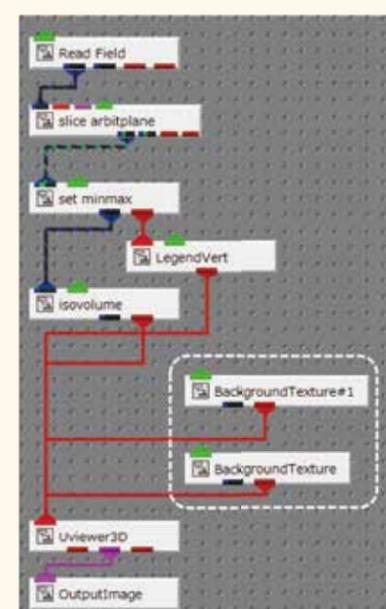
図1. 背景画像

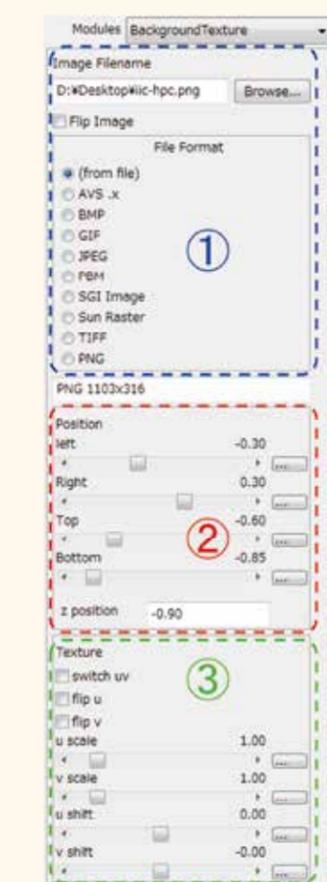


図2. タイトルロゴ画像

### 可視化モジュール

#### BackgroundTextureの利用方法

可視化モジュール構成をに示します。図中の白色破線で囲った部分が背景およびタイトルロゴを表示するための可視化モジュールで、それ以外はデータを可視化するためのモジュールです。背景およびタイトルロゴはいずれも可視化モジュールBackgroundTextureを使用します。このモジュールは、ライブラリMainのグループGeometriesにあります。同時に同じ可視化モジュールを複数使用しますので、モジュールの表示がBackgroundTextureおよびBackgroundTexture#1になっています。このモジュールの出力ポートには紺色と赤色がありますが、今回は赤色のポートをモジュールUviewer3Dの入力ポートに接続します。

に可視化モジュールBackgroundTextureのコントロールパネルを示します。コントロールパネルは3つの部分から構成され、図中においてそれぞれ①、②および③としています。

①の部分で、画像ファイル名および画像フォーマットを指定します。画像フォーマットとして、広く利用されているフォーマットを選択することができます。(from file)を選択することで、自動的に画像フォーマットを認識させることができます。

②の部分は、可視化領域において画像を表示する領域を指定します。可視化領域の中心を原点として、

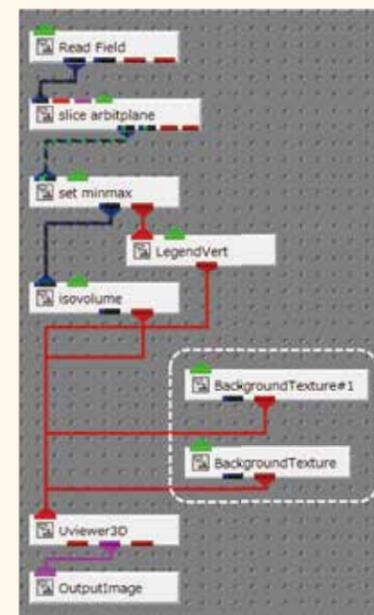
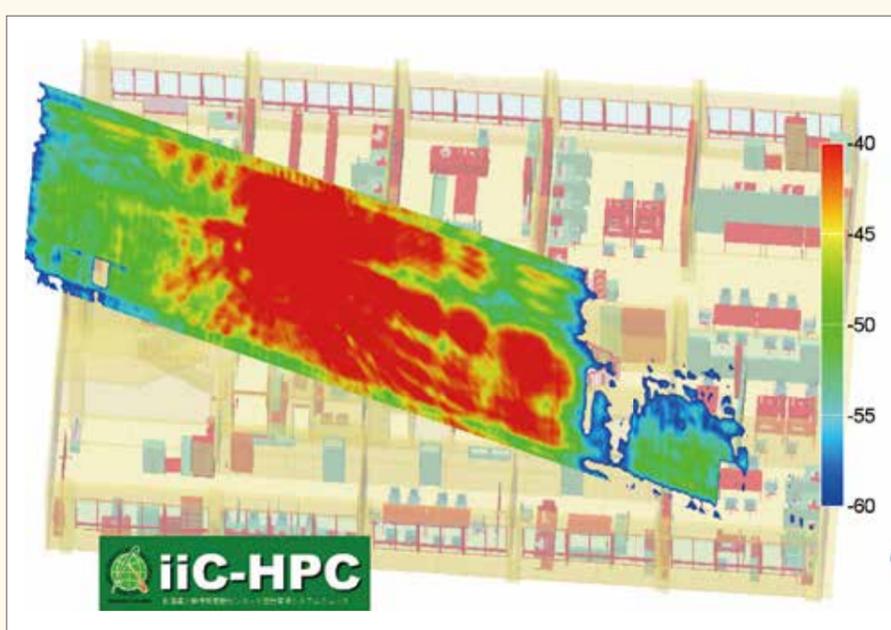
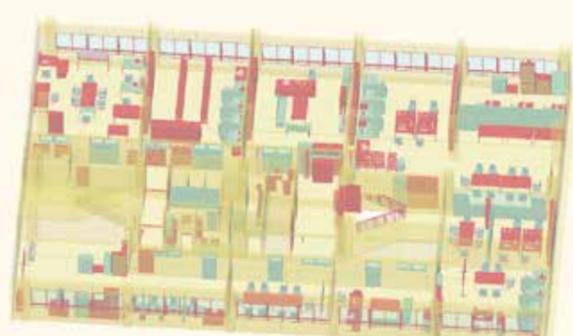


図3. ネットワークエディタ

上下、左右および奥行き方向に相対的に-1.0から1.0としています。初期設定では、読み込んだ画像を可視化領域全体に表示します。タイトルロゴを表示させる場合、これらパラメータを適切に設定することで、画像の大きさや表示場所を希望どおりにすることができます。

③の部分で、画像の回転・反転、拡大・縮小およびオフセット量を指定します。uは水平方向、vは垂直方向に対応します。

可視化結果をに示します。図中には、およびに示した画像をそれぞれ背景およびタイトルロゴとして利用しています。

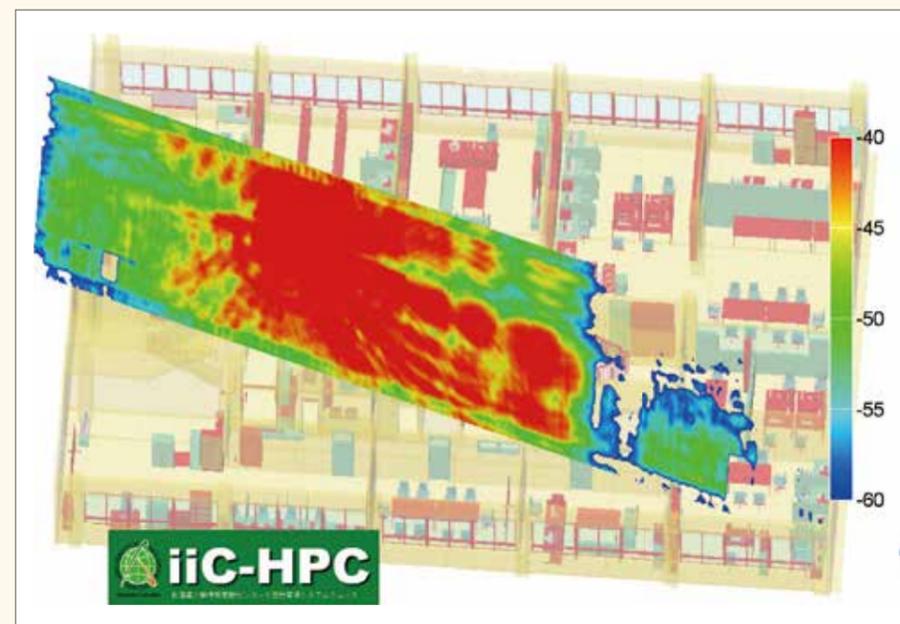


図5. 可視化結果

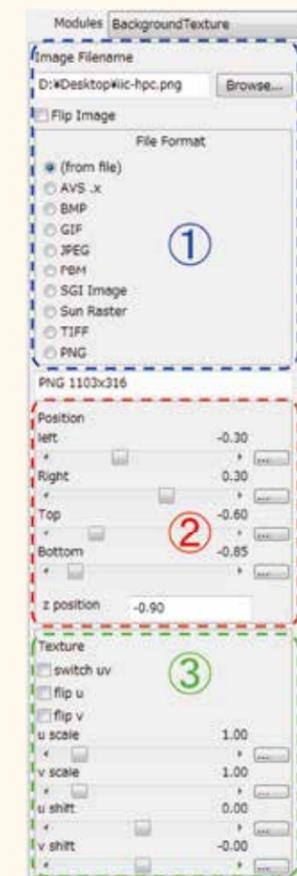


図4. 可視化モジュールBackgroundTextureのコントロールパネル

### まとめ

本連載記事においては、AVS/expressの最新バージョン8.4で追加された機能である可視化モ

ジュールBackgroundTextureの利用方法について解説を行いました。これまでは、背景色を変更したり、グラデーションにするなどの機能が利用できましたが、画像を利用することが可能になったことで、表現の範囲が広がるのではないのでしょうか。また、写真と可視化結果を組み合わせることで、VR的な効果を得ることができるのではないかと考えます。是非お試しください。

## 第9回学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点シンポジウムを開催

第9回学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）シンポジウムが下記のとおり開催されました。シンポジウムには多くの方にご参加いただき、優れた研究成果の発表とそれに関する活発な議論が行われました。本シンポジウムで発表された平成28年度実施課題、平成29年度採択課題、および萌芽型共同研究課題を下記ホームページで公開しておりますのでご覧ください。

<https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/sympo/9th/>

日時：2017年7月13日(木)、14日(金)

会場：THE GRAND HALL (品川)

## COMSOLマルチフィジックス利用講習会を開催

アプリケーションサーバ{malt1, malt2, malt3}.hucc.hokudai.ac.jpでサービスを提供しているアプリケーションソフトウェアCOMSOL Multiphysicsの利用講習会を下記の日程で行いました。新バージョン5.3の紹介、波動光学モジュールおよびハンズオンセミナーなど、上級ユーザから初級ユーザまでの幅広いユーザに対応した講習を行いました。おかげさまで、当日は13名のユーザにご参加いただき、利用講習会終了後には、個別の利用相談等に対応しました。



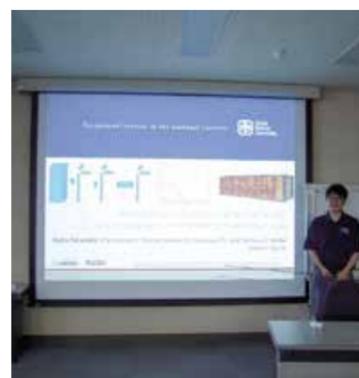
日時：2017年8月6日(日) 10:00~13:00および14:00~17:00

会場：北海道大学情報基盤センター北館（4階）会議室

講師：COMSOL INC. 水山洋右氏 / 計測エンジニアリングシステム (株)第一技術部 福川真氏

## Sapporo Summer HPC Seminar 2017を開催

本センター主催Sapporo Summer HPC Seminar 2017を下記のとおり開催しました。本セミナーは昨年、一昨年に続いて、3回目の開催となり、サンディア国立研究所（米国）のDr. Keita Teranishiによるテンソル分解とその応用に関する招待講演と、本センターのスーパーコンピューティング部門の教員を含む3名による講演が行われました。本学以外からの参加者を含めて、最新の研究内容について活発な議論を行い、参加者間の交流を深めることができました。本センターでは、引き続きスパコンやHPC関連分野の研究者を招いたセミナーを定期的で開催し、ユーザ間の情報交換や交流の場を提供したいと考えています。



Dr. Keita Teranishiによる招待講演の様子

日時：2017年8月7日(月) 10:30~15:00

会場：北海道大学情報基盤センター北館（4階）会議室

## CloudWeek2017@Hokkaido Universityを開催

本センター主催のクラウドコンピューティングに関するイベント、CloudWeek2017@Hokkaido Universityを下記のとおり開催しました。本イベントはアカデミックインタークラウドシンポジウム2017、オープンクラウドカンファレンス2017、第12回地域間インタークラウドワークショップから構成され、大学等の研究機関およびクラウド関連企業の研究者による32件の講演と1件のパネル討論を行いました。全国からのべ300名以上の参加があり、クラウド技術に関する情報交換を行うことができました。



日時：2017年9月5日(火)~7日(木)

会場：北海道大学学術交流会館

## Supercomputing Conference 2017(SC17) 参加報告

2017年11月12日(日)から17日(金)の期間、米国デンバーで開催された国際会議SC17に本センター教員4名が参加し、ブース展示、研究の動向調査、打ち合わせ等を行いました。総務企画部 広報課（国際広報）から提供された広報用ノベルティを引き続き配布し、のべ120名以上の展示ブース訪問者があり、公募型共同研究課題ポスターなどを含めて、本センターの活動を幅広く伝えることができました。



# 学際大規模計算機システム

〈次期システム導入時期の変更等について〉

iiC-HPCニュース45号の本コーナーにおいて、学際大規模計算機システムの、平成29年度の継続手続及び平成30年度のシステム更新に伴う運用スケジュール等について掲載しました。その後、次期システムの導入時期が変更になりましたので、最新の情報をお知らせします。本システムをご利用の方も、今後のご利用を検討されている方も、ご一読くださいますようお願いいたします。

## ■ 次期システムの導入時期及びサービス内容について

現行システムでのサービスを平成29年度末に終了し、平成30年4月より次期システムを導入する予定でしたが、**次期システム導入が平成30年12月に変更されました**。ご理解くださいますようお願いいたします。

次期システムで提供するサービスおよび提供開始時期については、各種委員会により決定の上でお知らせします。**メールマガジン及び下記ホームページにて随時掲載します**ので、ご確認くださいませようお願いいたします（メールマガジン購読方法は後述）。

現行システムの サービス期限と一部アプリケーションのサービス終了についてのお知らせ

[https://www.hucc.hokudai.ac.jp/201709gakusai\\_kigen.html](https://www.hucc.hokudai.ac.jp/201709gakusai_kigen.html)

### 【補足】

現行のクラウドシステムは平成30年11月までサービスを提供し、12月より次期システムでのサービスを提供開始する予定です。

## ■ 一部アプリケーションソフトウェアサービスの提供終了について

国立大学法人が第3期中期目標・中期計画期間に入り、さらなる緊縮財政が予想されます。本センターにおいても、運営経費の削減が見込まれる状況下であり、全てのサービスを継続することは困難であると判断しました。

検討の結果、**下記アプリケーションソフトウェアの提供を、平成30年3月末日をもって終了します**ので、ご了承ください（表1）。

表1 平成30年3月でサービスを終了するアプリケーション

アプリケーション名	内容
Amber	分子力学と動力学計算シミュレーション
ANSYS	有限要素法マルチフィジックス解析ツール
ANSYS Fluent	汎用熱流体解析ソフト
LS_DYNA	衝撃・構造解析ソフト
Marc	非線形有限要素解析プログラム
Marc Mentat	汎用非線形構造解析ソルバー
MD.Nastran	複合領域解析ソルバー
Patran	CAE環境統合プリ・ポストソフトウェア

## ■ 現行システムのサービス提供期間について

次期システム導入時期の変更に伴い、**現行システムの運用スケジュール**が以下の通り変更になりましたので、ご了承ください（表2）。

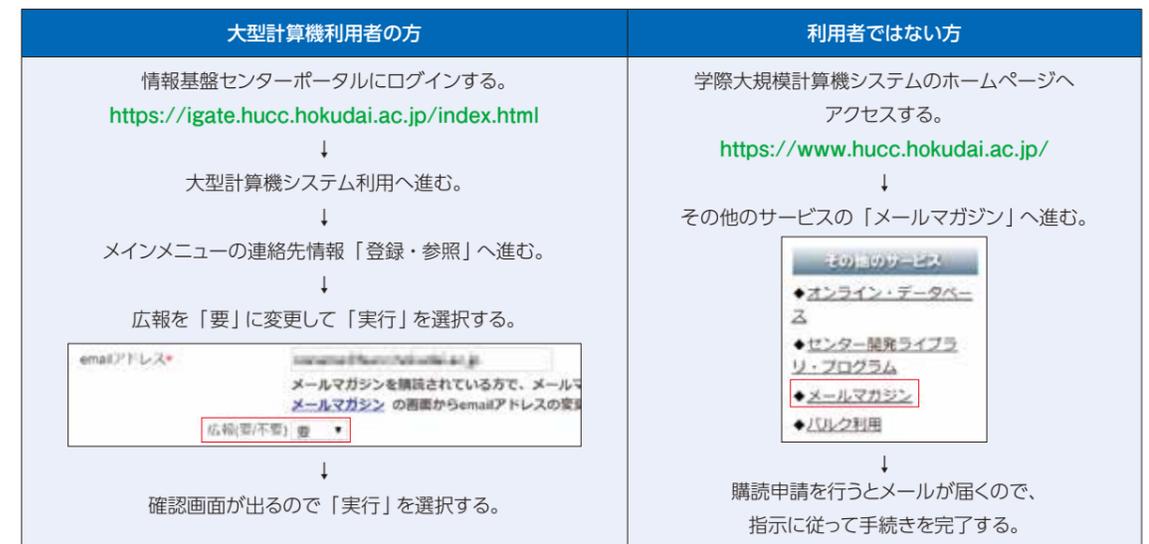
表2 現行システムのサービス提供期間

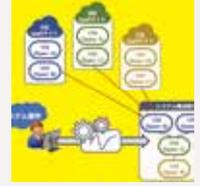
サービス	ホスト名等	サービス提供期間
スーパーコンピュータ	hop000.hucc.hokudai.ac.jp hop001.hucc.hokudai.ac.jp	平成30年7月まで
アプリケーションサーバ	malt1.hucc.hokudai.ac.jp malt2.hucc.hokudai.ac.jp malt3.hucc.hokudai.ac.jp	表1のものは平成30年3月まで それ以外は平成30年11月まで
ホスティングサーバ プロジェクトサーバ	mist2**** yew0****	平成30年11月まで
オンラインストレージ (Proself)	sil01.hucc.hokudai.ac.jp sil02.hucc.hokudai.ac.jp	
WebDAVストレージ (ownCloud)	rime.hucc.hokudai.ac.jp	
AmazonS3互換 オブジェクトストレージ	wave.hucc.hokudai.ac.jp	
ダウンロードサービス	Mathematica AVS/Express	
利用者端末室	PC端末 大判プリンタ	

## ■ メールマガジン購読のご案内

北大情報基盤センターメールマガでは、**利用者の皆様への重要なお知らせ**、定期保守等に伴うサービス停止のご案内、関連イベントや利用者支援などのお知らせ等を配信しています（月に1~2回程度）。

今回、本コーナーにて掲載した事項や、次期システム導入に関する情報なども随時ご案内していますので、購読がまだの方はぜひご検討ください。





### ●メールマガジン講読のご案内

本センター学際大規模計算機システムに関するさまざまなお知らせ（運用予定、利用講習会、講演会案内、トピックス）、また、利用法に関するヒントをメールマガジンでお届けしています。メールマガジンを講読されるためには登録が必要です。下記ホームページで登録を受け付けています。本センターの利用登録の有無に関わらず、メールマガジンの講読が可能（無料）ですので、この機会に是非登録されてはいかがでしょうか。

### ●メールマガジンの登録または削除

<http://mmag.hucc.hokudai.ac.jp/mailman/listinfo/mmag>

### ●スパコンのための情報サービス一覧

情報サービス	内 容
利用者受付	学際大規模計算機システム利用のための登録・総合情報 TEL 011-706-2951
利用講習会	使い方・プログラム講習 <a href="http://www.hucc.hokudai.ac.jp/kosyu/kosyukai.html">http://www.hucc.hokudai.ac.jp/kosyu/kosyukai.html</a>
メルマガ情報	さまざまな学際大規模計算機システム情報の速報 <a href="http://mmag.hucc.hokudai.ac.jp/mailman/listinfo/mmag">http://mmag.hucc.hokudai.ac.jp/mailman/listinfo/mmag</a>
iiC-HPC	大型計算機システムニュース、その他ダウンロード <a href="http://www.hucc.hokudai.ac.jp/koho_syuppan.html">http://www.hucc.hokudai.ac.jp/koho_syuppan.html</a>

### ●編集後記

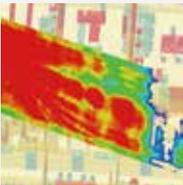
本号、発行スケジュールの見直しにより、久しぶりの発行となりました。特集記事では、北見工業大学の三浦克宜先生にお話を伺いました。取材の移動で北海道の大きさ、地域の多様性を改めて実感するとともに、良い研究テーマであれば、継続して研究を進めることの大事さを痛感いたしました。近年、人工知能が再び脚光を浴びておりますが、ブレークスルーの裏には、膨大な研究の積み上げがあることを忘れてはならないと考えております。本センターも計算機資源の提供や共同研究の推進などを通じて、これらの研究のお役に立ちたいと考えております。

### ●次号の特集予告

本センターは学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の構成拠点として、センター独自の共同研究を毎年実施しています。次号においては、平成29年度情報基盤センター萌芽型共同研究課題の研究代表者を担当されている静岡大学電子工学研究所佐藤弘明先生に研究課題内容、研究成果および北大スパコンの利活用法についてお話を伺います。

### ●本誌へのご意見をお聞かせください。

連絡先：kyodo@oicte.hokudai.ac.jp  
北海道大学 総務企画部 情報企画課 共同利用・共同研究担当  
TEL 011-706-2956 FAX 011-706-3460  
iiC-HPCニュースは本センターホームページからダウンロード可能です。  
[http://www.hucc.hokudai.ac.jp/koho\\_syuppan.html](http://www.hucc.hokudai.ac.jp/koho_syuppan.html)



## iiC-HPC 第46号

編集・発行：北海道大学情報基盤センター共同利用・共同研究委員会システム利用専門委員会

- 情報基盤センター 大宮 学
- 情報基盤センター 岩下 武 史
- 情報基盤センター 杉木 章 義
- 情報基盤センター 深谷 猛
- 文学研究科 樽本 英 樹

- 理学研究院 石渡 正 樹
- 農学研究院 谷 宏
- 工学研究院 萩原 亨
- 総務企画部 情報企画課 更科 高 広

平成29年12月発行印刷：株式会社 正文舎 TEL011-811-7151

