

大学における学術クラウドの運用と課題：北海道大学の事例

吉川 浩¹⁾

1) 北海道大学 学術情報部 情報企画課

unyo@oicte.hokudai.ac.jp

Operation and Challenges in Academic Cloud Environments: A Case Study of Hokkaido University

Hiroshi Yoshikawa¹⁾

1) ICT Planning Division, Academic Information Department, Hokkaido University.

概要

本稿は、北海道大学における学術クラウドの構築・運用事例を対象に、その発展経緯と運用課題を整理し、得られた示唆を提示する。近年、クラウドコンピューティングは研究開発におけるデータ処理・計算資源の獲得・研究者間連携に不可欠な基盤となっている。北海道大学はオンプレミスの IaaS (Infrastructure as a Service) を中核とする学術クラウドを長年運用し、その過程で技術的・運用的・ガバナンス上の多様な課題に直面してきた。本稿では、2002 年のホスティングサーバ開始から、2011 年の大規模仮想化、2018 年の OpenStack 導入、2025 年のコンテナ基盤 (Kubernetes) への移行に至る変遷を概観し、運用で顕在化した課題 (相反要求、パッケージ維持、セキュリティ、移行・保守、コスト、ストレージ特性など) と、用途別クラウド分離や規程整備などの対応を具体的に論じる。

1 はじめに

従来、大学の IT 環境は各部署に分散し、リソースの有効活用やデータ共有に制約があった。北海道大学は、研究者が必要時に必要量の計算資源・データストレージ・アプリケーション環境を利用できる学術クラウドを整備し、オンプレミスのクラウドシステムを継続的に運用してきた。本システムは学内外の研究者・教育・人材育成を支援し、計算科学等の研究基盤として機能してきた。本稿の目的は、当該システムの構築および運用過程で得られた知見を共有し、他機関における導入および運用の参考に資することである。

本稿の構成は以下のとおり：第 2 章で北海道大学における学術クラウドの歴史を概観し、第 3 章で運用課題とトラブル事例を整理し、第 4 章で対応・解決策を述べ、第 5 章でまとめる。

2 北海道大学におけるクラウドの歴史

2.1 2002 年：初期 IaaS 導入

2002 年 4 月、大型計算機センター（現情報基盤センター）に汎用コンピュータシステムの一部としてホスティングサーバが導入され、初期的な IaaS を開始した [1][2]。目的は、学内に分散するサーバ群の集中管理

によるセキュリティ強化と運用コスト低減であった。IBM e-Server xSeries 330 (Intel Pentium III/1GHz, メモリ 384MB) 50 台を貸与し、当初は Web / メール用途を想定したが、その後ホスティングサーバを複数用いた PC クラスタとしての利用も拡大した [3][4]。

2.2 2007 年：計算用途の IaaS も提供開始

2007 年 3 月に更新された次の汎用コンピュータシステム [5] では、計算用 PC クラスタを想定した「プロジェクトサーバ」を追加し、計算用途を拡充した。50 台のホスティングサーバに加え 80 台のプロジェクトサーバを整備し、スペックを Intel Xeon 5110/1.6GHz、メモリ 8GB に更新した。ホスティングサーバには Web 管理の利便性向上のため HDE Controller 等を導入した。

2.3 2011 年：仮想化技術の導入と大規模 IaaS の構築

2011 年 11 月、従来の汎用コンピュータシステムに代わり、スーパーコンピュータと一体調達の「学際大規模計算機システム」[6] (以降「学際システム」と呼ぶ) の一部として、Citrix XenServer + Apache CloudStack による大規模仮想化基盤を採用し、同時に 2,000 台超の仮想サーバと 22 台の物理サーバ (HITACHI BladeSymphony BS2000, Intel Xeon E7-8870×4, メモリ 128GB) の提供が可能な国内最大級

の学術クラウド（アカデミッククラウド）を構築した。

申請は Web ポータルから自動化され、約 1 時間で払い出し可能とした。用途別にホスティングサーバとプロジェクトサーバを提供し、前者は HA (High Availability) 構成とし Apache HTTP Server や CMS (MovableType, Xoops) などがインストールされたパッケージを提供、後者では仮想 VLAN 分離と S サーバ (1 コア), M サーバ (4 コア), L サーバ (10 コア) のサーバスペック、MPI/OpenMP/Hadoop などのパッケージを用意した。

2.4 2014 年：ビッグデータ向け大容量ストレージと高性能計算 IaaS の提供

2014 年 4 月、1.96 PB の大容量ストレージ (DDN WOS7000 + GridScaler NAS) と HITACHI HA8000/RS210 (Xeon E5-2670v2×2、メモリ 80GB) 25 台から成る「ペタバイト級データサイエンス統合クラウドストレージ」[6][7][8] を導入した (以降「ペタバイトシステム」と呼ぶ)。

ペタバイトシステムは学際システムとは独立したシステムであり、ビッグデータ解析などの大規模な計算用途を想定し、主に革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) や学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) へ資源を提供した。

仮想化基盤に学際システムと同じ Citrix XenServer + Apache CloudStack を採用しており、リソース総量指定方式により、利用者は配分範囲内で任意スペックのサーバを自由に構築・破棄可能とした。WebDAV (ownCloud)、S3 互換オブジェクト、ローカルな Gfarm ストレージも提供した。

2.5 2018 年：OpenStack の導入と仮想・物理・GPU サーバの提供

2018 年 12 月、前学際システムとペタバイトシステムを置き換える形で新たな学際システムが導入された [9]。仮想化基盤を KVM + OpenStack (Mirantis Cloud Platform) に移行し、仮想サーバに加え物理サーバ (Xeon Gold 6138 20 コア×2、メモリ 256GB) と GPU サーバ (Xeon Gold 6138 20 コア×2、メモリ 256GB、NVIDIA Tesla V100×2) も同一管理画面から制御可能とした。インタークラウドパッケージにより、北大と遠隔サイト (東大・阪大・九大) を L2VPN で接続した広域分散環境の実験が可能であった。

WebDAV ストレージは ownCloud から派生した Nextcloud へ移行した。ownCloud のユーザーデータは

全て Nextcloud へ移行し、旧システムと同じ利用者アカウントでのアクセスを可能とした。

このシステムからは運用方針として研究開発用途に限定し、業務・Web 公開用途は別クラウドへ誘導した。これらの事情については第 3 章「学術クラウド運用における課題とトラブル事例」で説明する。

2.6 2025 年：コンテナ基盤へ移行

2025 年 7 月、新学際システムが稼働を開始し、Kubernetes + SUSE Rancher Prime を用いたコンテナ基盤に刷新した。利用者は構築済みコンテナをカタログからデプロイする方式となり、アプリ/ランタイム依存の複雑さから解放されることが期待される。

WebDAV ストレージ (Nextcloud) のシステムも更新され、シームレスな移行によって利用者に新旧システムを意識させずにシステム入れ替えを完了した。

2.7 小括

サービスは Web サーバ用途から出発し、PC クラスタ、高性能物理、広域分散、GPU へと拡張してきた。基盤は物理貸しから XenServer+CloudStack、KVM+OpenStack、そして Kubernetes へと進化した。ハードウェアは Pentium III (1 GHz) から、2025 年現在は Xeon Gold 6538N (2.1GHz、32 コア) ×2 や GPU (NVIDIA H100) 搭載サーバの提供に至っている。

3 学術クラウド運用における課題とトラブル事例

3.1 利用者間の相反要求

様々な目的・用途のクラウドサーバを提供していると、その利用者から表 1 に示すような様々な要求が出てくる。その中には単一のクラウドシステムで提供すると相反してしまうものもある。

業務システムは安定性・互換性・閉域性を重視する一方、研究開発は性能・最新技術・オープンネットワーク・管理者権限を志向する。Web サーバでは「提供者側で管理」対「高度な作り込みのための root 権限」等、要求が相反する。

3.2 提供パッケージ維持の負担

利用者の利便性のためにプリインストール (CMS、Hadoop 等) のパッケージを複数提供することは、常時アップデートと過去版維持 (脆弱版除外) を要し、管理が複雑化する。

目的・用途	要求
業務システム	安定・無停止・互換性重視、セキュアな環境、Windows Server の利用、etc.
研究開発	性能重視、最新のテクノロジーの利用、オープンなネットワーク、管理者権限付与、etc.
Web 公開	CMS や Plugin の自由な選択、利用者側でのサーバ・OS・アプリ管理が不要な環境、etc.

表 1 クラウドサーバ利用者の目的・用途別の要求

3.3 利用者のスキルレベルとセキュリティ

仮想サーバは手軽に利用できる半面、その利用者のスキルレベルも様々である。特に業務・Web 公開用途の利用者の一部はサーバ運用経験が乏しく、OS / アプリ更新が滞り脆弱性放置やアカウント管理不備によるインシデントが発生した。

3.4 学外者へのガバナンス適用

本学では学内のセキュリティ規程が策定されており、学際システムもこの管理下に置かれている。本学の学術クラウド設備で発生したインシデントは本学の責任が問われるため、利用者にも本学のセキュリティ規程に協力してもらう必要がある。しかし、学際システムはパブリッククラウドであるため学外利用者が多く存在しており、学内セキュリティ規程を適用することが難しい。

3.5 利用者による不当行為

パブリッククラウドに有償の OS やアプリケーションなどを持ち込む場合には利用者側でライセンス違反にならないよう注意してもらう必要がある。特に学際システムは SPLA (Microsoft Services Provider License Agreement) ライセンスを取得していないため、学際システムのクラウドサーバに Windows パッケージを提供しておらず Windows は利用できない。

また、システムダウンを誘発するような巨大な負荷テストを行うなど他の利用者に迷惑となる行為も禁止している。

3.6 仮想化基盤の継続性・ベンダーロックイン

流行の変遷により次期システムで同一基盤が確保できない場合があり、互換性やコスト(有償基盤の値上げリスク)が課題となる。学際システムはオープンソースの採用によりライセンス料は回避できたが、2018 年の CloudStack から OpenStack への変更は継続性不安も背景にあった。

3.7 システム入れ替え時の移行困難

本学が導入している学術クラウドは賃貸借のため約 5 年毎にシステムの入替えが生じる。このとき、既存のクラウドシステムと次のクラウドシステムの間

でゲストサーバの移行作業が必要になる。研究用途のサーバは単年度利用などで移行の必要がない場合が多いが、ホームページや業務系システムの用途は必ず次のシステムへの移行が必要になる。これには多様な利用者都合を調整しつつ数か月を要する。2018 年のシステム更新では移行対象が膨大で負担が大きかった。

3.8 システムメンテナンスの困難

クラウドサーバの用途が多岐にわたると、システムメンテナンスのための一斉停止時間の合意形成が難しい(授業、学会受付、入試、メール等)。

3.9 利用負担金

学術クラウドの利用料金はシステムの電気料相当分として決められる。電気料には、サーバやストレージ等の IT 機器が消費する電力の他に IT 機器を冷却するためのチラーや空調機器の電力が含まれる。

運用途中での値上げは極力避けたいが、外部要因(消費税・電気料金)によって改定を余儀なくされる場合がある。利用料金は学術クラウドのサービス利用率に影響を与え、利用者が離れてしまう問題を誘発する。

3.10 クラウド特有のストレージ負荷

アクセス最適化機能(I/O スケジューリング機能)を持つストレージにおいて、クラウド特有のアクセスパターンにおいては最適化機能が逆効果となることがある。

2011 年導入の学際システムでは、プロジェクトサーバ用の追加ディスクにおいて、ストレージ装置の最適化機能によりゲスト OS 側でアンマウントや read-only 化が発生した事例がある。

4 課題解決と対応事例

4.1 複合的課題への系統的対応

4.1.1 用途別クラウドの分離・棲み分け

学際システムへの一極集約を改め、学際システム(研究開発用パブリッククラウド)、事務クラウド(VMware, Hyper-V を用いたプライベートクラウド)、WEB ホスティング(WordPress 静的化)、VPC

サービス（閉域・作り込み可）へ分離した（表 2）。相反要求・スキル差・セキュリティ水準・ライセンス・更新方針の違いを吸収した。

■事務クラウド オンプレミス型の学内者向けプライベートクラウドであり、プライベートネットワーク内に閉じた構成となっているため、機密性の高い情報等を扱う事務系のシステムが収容されている。事務クラウドの仮想化基盤には VMware を採用している。なお、2025 年にライセンス料の問題により VMware で稼働を予定していた一部の仮想マシンを Hyper-V へ移行し、残りの仮想マシンもコア数を減らす等して料金の高騰を抑えた。

■WEB ホスティング サーバ運用経験のない利用者でも安全にホームページを公開できるように特化した学内者向けホスティングサービスである。利用者には WordPress の編集者権限のみを与える。安全にホームページを公開するため、WordPress の編集サーバとホームページ公開サーバを分離し、WordPress 編集サーバは学内からのアクセスのみ可能としている。作成したコンテンツは静的 HTML として公開することで、動的 HTML を悪用した攻撃にも対応する。

■仮想プライベートクラウド (VPC) さくらインターネット株式会社のサービスを利用したホスティング型の学内者向けプライベートクラウドサービスで、作り込みが必要な Web サーバなど、任意の目的に利用できる。本学の学内 LAN (HINES) 内に閉じたネットワーク構成のため、機密性の高い情報を扱うシステムも構築できる。

4.1.2 メールサーバの集約

学内管理サーバへの集約により、部局・研究室運用の穴を突く攻撃リスクを低減した。

4.1.3 利用規程および申請ポータルへの遵守事項明記

学際システムは学外者も利用するシステムであり、本学の学内規則が及ばない学外者にも対応が必要なため、利用者の遵守事項と学外利用者のセキュリティガバナンスに関して、学際システムの利用規程 [10] に文言 (図 1) を追加し、利用者に協力を要請した。

また、サーバ管理の責任やインシデント発生時の対応など、利用者に注意喚起する文言をオンライン申請ポータルの画面に提示し、利用者が同意しないと申請できない仕組みを取り入れた。

4.2 省エネ化の取り組み

北海道の涼しい気候を利用した外気冷却システムを導入し、PUE (Power Usage Effectiveness) 値を下

げて電力を軽減した [11]。外気冷却導入前は年間平均 PUE=1.81 であったが、導入後の 2013 年度には年間平均 PUE=1.21 (冬季には PUE=1.15) を達成した。この取り組みの環境への効果が評価され「第 6 回さっぽろ環境賞 地球温暖化対策部門 札幌市長賞」を受賞した。

4.3 トラブル対応事例

4.3.1 クラウド特有のディスク負荷の診断と対策

前章で挙げた、クラウドサーバ特有のストレージ負荷によってゲスト OS 側でアンマウントや read-only 化が発生したトラブル事例について、診断・対策を紹介する。

まずシステム導入ベンダーに問題を認識してもらう必要があった。システムのハードウェアに故障はなく、当該ストレージ装置の負荷も小さかったため、ベンダーは問題意識を持っていなかったが、センター職員が仮想サーバにサーバ監視ツール Munin をインストールしてディスクレイテンシのデータを収集したところ、ゲスト OS 側から見たレイテンシが数秒から十数秒になるケースがあり、ベンダーと問題意識を共有できた。

仮想サーバを稼働していた物理ホストはディスクを内蔵しないディスクレスサーバであり、外部の大容量のストレージ装置を Fibre Channel で物理ホストと接続する構造となっていた。調査によって、このストレージ装置に内蔵されたアクセス最適化機能 (I/O スケジューラ) とクラウドサーバ特有のアクセスパターンとの相性問題であることが分かった。I/O スケジューラには noop, anticipatory, deadline, cfq があり、一般的には noop (無効) を指定すると性能が落ちる。しかし、クラウドサーバの場合は noop が最適であった。この問題は、ストレージ装置の I/O スケジューラを noop にすることで解決した。

4.3.2 巨大地震によるサービス停止

2018 年 9 月 6 日の北海道胆振東部地震で全道ブラックアウトが発生。クラウドシステムは UPS で約 1 時間延命後に停止し、シャーシ・ディスク・FC スイッチ・チラー配管に障害が生じた。このとき学際システム更新のため新旧移行中であった。幸い機器の転倒などはなく新システムへの被害もなかった。

突入電流で機器が故障しないよう学際システムの全てのブレーカを落として復電に備えた。自家発電設備がなく数日停止を余儀なくされ、9 月 10 日に最小構成で再開したが、北海道全域で 2 割の節電要請と計画停

クラウドシステム	用途	クラウド基盤	対象
学際システム	研究開発専用	Kubernetes	学内外の研究者
事務クラウド	機密性の高い学内の事務や基幹システム	VMware	学内者
WEB ホスティング	サーバ管理不要なホームページ	さくらインターネット	学内者
VPC サービス	機密性の高いシステムや作り込みが必要なウェブ	さくらインターネット	学内者

表2 用途毎に分離・棲み分けした各クラウドシステム

(利用者の遵守事項等)

第8条 利用者は、大型計算機システムの利用にあたっては、この規程及び第13条の規定に基づきセンター長が別に定める大型計算機を適正に利用するための定めを遵守するほか、次に掲げる事項を遵守しなければならない。

- (1) 利用者番号及び大型計算機を利用するために必要な情報を適切に管理すること
- (2) 大型計算機システムを利用の承認を受けた目的以外に利用し、又は第三者に利用させないこと
- (3) 大型計算機システムの正常な運用に支障を及ぼす行為又は及ぼすおそれのある行為を行わないこと

2 利用者は、国立大学法人北海道大学情報セキュリティ基本規程(平成28年海大達第202号)に定める情報セキュリティに関する施策についての基本理念及び国立大学法人北海道大学情報セキュリティ対策規程(平成28年海大達第203号)に定める本学における情報セキュリティを管理する組織及び体制を十分に理解した上で大型計算機システムを利用しなければならない。

図1 利用者の遵守事項(「北海道大学情報基盤センター大型計算機システム利用規程」から抜粋)

電が実施される可能性があったため、旧システムは運用終了まで最小構成のままでサービスを提供した。

地震によって流通が止まり、新システムの機器搬入等のスケジュールに遅れが生じたが、新システムは予定通り2018年12月にサービスを開始できた。

5 おわりに

北海道大学はパブリッククラウドプロバイダとして、学内外の研究者・教育・人材育成を支える学術クラウドを提供してきた。本稿は、その歴史の変遷、運用課題、具体的対応と得られた知見を示した。クラウド技術・ニーズは変化し続けており、現在は機械学習・生成AIなどのため、大容量ストレージとGPU等アクセラレータを備えた高速AI解析環境の提供が求められている。このため、現在本学では大容量のストレージを備えた高速なAI解析環境の導入を目指しているところである。

本稿で紹介したこれらの事例が、他機関やクラウド事業者の参考になれば幸いである。

謝辞

本稿の執筆にあたり、北海道大学情報基盤センター教員の皆様、情報企画課の職員の皆様および学際システム導入ベンダーの皆様にご多大なるご協力を賜りました。ここに、お礼申し上げます。

参考文献

- [1] 大宮 学、伊藤 和彦、相良 劭、杉浦 孝博、“新汎用コンピュータシステム”、北海道大学大型計算機センター センターニュース 2001 Vol.33、No.3、pp.38-49、Sep.2001.
- [2] 大宮 学、林 卓也、伊藤 和彦、相良 劭、大島 雅明、杉浦 孝博、“新汎用コンピュータシステム-第2報-”、北海道大学大型計算機センター センターニュース 2001 Vol.33、No.4、pp.17-29、Dec.2001.
- [3] 大宮 学、“ホスティングサーバを利用した高可用性PCクラスタの構築と分散メモリ並列処理”、北海道大学大型計算機センター センターニュース 2002 Vol.34、No.3、pp.17-31、Oct.2002.
- [4] 大宮 学、“PCクラスタを用いた並列プログラミング講義実施報告”、北海道大学大型計算機センター センターニュース 2003 Vol.35、No.1、pp.7-30、Mar.2003.
- [5] iiC-HPC(情報基盤センター大型計算機システムニュース)2007年度第11号特集<インタビュー>、<https://www.hucc.hokudai.ac.jp/publications/iic-hpc/>
- [6] 北海道大学情報基盤センター パンフレット 2016、https://www.iic.hokudai.ac.jp/pdf/pamphlet2016_j.pdf
- [7] 北海道大学情報基盤センター、“ベタバイト級デー

タサイエンス統合クラウドストレージの導入”、
平成 25 年度 情報基盤センター年報、pp.16-21、
Sep.2014.

- [8] 吉川 浩、“ペタバイト級データサイエンス統合クラウドストレージの運用”、大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 2014 年度年次大会、F3H-1、Dec.2014.
- [9] 杉木 章義、棟朝 雅晴、“北海道大学ハイパフォーマンスインタークラウドの設計、構築、運用まで”、日本オペレーションズ・リサーチ学会機関誌「オペレーションズ・リサーチ」64 巻、9 号、pp.507-513、2019.
- [10] 北海道大学情報基盤センター大型計算機システム利用規程、<https://www.hucc.hokudai.ac.jp/guide/use-policy/>
- [11] 岩崎 誠、更科 高広、吉川 浩、吉川 潤、財原 昇平、“大規模計算機における空調設備の再利用について”、大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 2020 年度年次大会論文集、FA5-2、Dec.2020.