

# パブリッククラウドを活用した ALMA 望遠鏡観測・解析データの蓄積と解析に関する実証実験

吉田 浩<sup>†1</sup> 合田 憲人<sup>†1</sup> 小杉 城治<sup>†2</sup>  
中里 剛<sup>†2</sup> 森田 英輔<sup>†2</sup> 林 洋平<sup>†2</sup> ミエル ルノー<sup>†2</sup>

**概要:** 天文学をはじめとするビッグサイエンスの分野において、長期の大量研究データ蓄積の運用負担低減や繁忙期における計算資源の柔軟な拡張を目指したパブリッククラウド活用のベストプラクティス確立を目的として、ALMA望遠鏡のデータ蓄積・解析にパブリッククラウドを適用する実証実験を実施している。本報告では、商用パブリッククラウド上で、実際のALMA望遠鏡データを使用して、クラウドストレージサービスによるデータ蓄積や、VMインスタンスとブロックストレージサービスを利用したデータ解析を試行して性能およびコストを評価した結果を示し、さらに、これらのクラウド資源の最適な選択について検討する。

**キーワード:** クラウド, コールドストレージ

## The PoC experiments of storing and analyzing the observation and analysis data of ALMA telescope utilizing public cloud services

HIROSHI YOSHIDA<sup>†1</sup> KENTO AIDA<sup>†1</sup>  
GEORGE KOSUGI<sup>†2</sup> TAKESHI NAKAZATO<sup>†2</sup>  
EISUKE MORITA<sup>†2</sup> YOHEI HAYASHI<sup>†2</sup> RENAUD MIEL<sup>†2</sup>

**Abstract:** In order to establish best practices of public cloud adoption in big science areas such as astronomy to achieve operational cost reduction of storing large amounts of research data for long periods as well as flexible extension of computing resources during on-season, we conduct the PoC experiments of storing and analyzing the ALMA telescope data in public cloud services. In this report, we show the results of performance and cost evaluations of storing and analyzing the ALMA telescope data using object storage and VM instances with block storage provided by commercial public cloud services. Based on the evaluations, we also discuss how to choose optimal cloud resources in terms of performance and cost.

**Keywords:** Cloud, Cold storage.

### 1. はじめに

天文学をはじめとするビッグサイエンスの分野では、観測機器や実験装置から大量に生成され続けるデータの蓄積および解析のための計算資源が必須である。例えばALMA望遠鏡からは毎年200TBを超える新しいデータが生み出される。世界中の研究者がこの観測データを利用した研究活動を行うことを可能とするために、データを恒久的に保管するためのストレージ資源、データ整約処理のための計算資源、更にデータ整約の実施と整約したデータの公開が必要となる。しかも、観測データの生成量やデータ整約処理の計算量は観測ごとに大きく変化する。現在、これらの計算資源は、研究機関などにオンプレミスのシステムを設置して利用されているが、以下のような課題がある。

- 増え続ける蓄積・公開データを保管するためのストレージの増強が継続的に必要となり、キャパシティプランニングや運用管理の負担が増大する。

- ストレージの耐用年数が経過するごとにシステムの更改が必要であるが、その際のデータ移行の負担が大きい。
- データ処理の繁忙期の処理要求量に合わせた計算資源を準備する必要があるが、平常時の資源の利用率は必ずしも高くないので、結果としてコストが高つく。

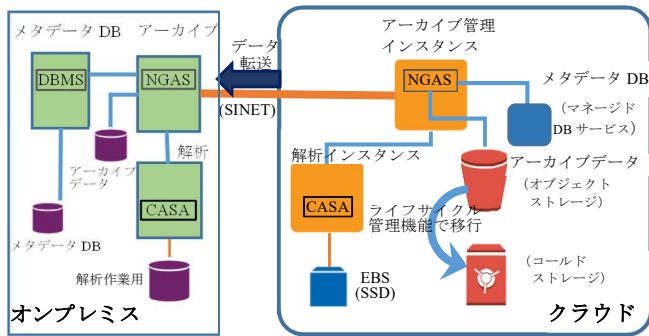
これらの課題の解決策としてオンプレミスのシステムとパブリッククラウドを併用したハイブリッドクラウドの活用が期待される。しかし、ビッグサイエンス分野におけるパブリッククラウドの活用方法そのもののベストプラクティスが未確立であることから、パブリッククラウド、あるいはパブリッククラウドとオンプレミスシステムによるハイブリッドクラウドの利用が進まないという問題がある。

このような問題意識から、筆者らは、ALMA望遠鏡[1]のデータ蓄積・解析にクラウドを活用する実証実験を共同で

<sup>†1</sup> 情報・システム研究機構 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics

<sup>†2</sup> 自然科学研究機構 国立天文台  
National Astronomical Observatory of Japan

a) 本論文に記載されている社名、商品またはサービスの名称等は、各社の商標または登録商標です。



NGAS (Next Generation Archive System) :  
ALMA で使用しているアーカイブ管理システム  
CASA (Common Astronomy Software Package) :  
電波天文学解析ソフトウェア

図 1 ハイブリッドクラウドによる  
ALMA データの保管と解析モデル

実施することによって、天文学におけるクラウド活用のベストプラクティスを創り、巨大な科学研究データの効率的な運用を促進することを目的とした取組みを 2017 年から行ってきた。これまでは、特にクラウドコールドストレージに着目して、科学研究データをコールドストレージに保管するかどうかの判断や、パブリッククラウドを含めた研究データ保管のストレージアーキテクチャ設計の一助となる実際的な情報を得る目的で、複数の商用パブリッククラウドのコールドストレージに関する実験結果を報告してきた[2][3]。本報告では、この ALMA 望遠鏡の観測・解析データの保管実験に加えて、パブリッククラウド内での解析に関する最近の実験を含め、以下の結果について述べる。

- 1) クラウドストレージ（オブジェクトストレージ、コールドストレージ）を活用した ALMA 望遠鏡観測データおよび解析データの長期保管の効率化に関する実験・分析結果
- 2) パブリッククラウド上の計算資源（VM インスタンス、ブロックスレージ）を使用した ALMA 望遠鏡観測データの解析に関する実験結果。特に性能（経過時間）およびコスト（クラウド課金額）の分析結果。

なお、今回の実験は、商用パブリッククラウドである Amazon Web Services（以下 AWS）を使用して実施した。以下の記述では、AWS 固有のサービス名称や用語を、特に断りなく使用することがある。

## 2. 想定するハイブリッドクラウドのモデル

ALMA 望遠鏡データの保管・解析のための既存のオンプレミス環境からのシームレスな拡張として、図 1 に示す SINET で接続されたパブリッククラウドを併用したハイブリッドクラウド構成を想定して、実験を実施した。このハ

イブリッドクラウド化によって、次のような効果が期待できる。

- 1) データの長期保管にパブリッククラウドを活用することによって、総コストおよび労力の軽減、特にストレージの運用管理や長期保管に伴う媒体移行の負担軽減を図ることができる。
- 2) パブリッククラウド上の計算資源の活用によって、オンプレミスの計算資源の一時的な不足への対応や、高スペック（新世代 CPU、多数コア、大量メモリ）の計算資源をオンデマンドに利用することによる解析処理の高速化・効率化を図ることができる。

1)のデータの長期保管に当たっては、オンプレミスのストレージと、パブリッククラウド上のストレージサービス（頻繁にはアクセスされないデータを対象としたコールドストレージサービスも含む）をどのように使い分けて保管対象のデータを格納するかが課題となる。すなわち、どのような保管データの属性に基づいて保管先を決めるか、その場合の総運用コストはどのようになるか、コールドストレージに保管されたデータの読出し性能への影響の低減などについて、実際の ALMA のデータの一部をパブリッククラウド上のストレージサービスに格納する実験を行った結果および ALMA におけるデータの蓄積・利用状況の実績値に即したコスト試算を行った。

2)のクラウド上の計算資源の活用については、従量制課金を特徴とするパブリッククラウドでは、利用者が計算資源（CPU コア、メモリ、ローカルストレージなど）を柔軟に選択しオンデマンドで配備する機能が提供されており、パブリッククラウド上で実行する解析処理に対して最適な計算資源を選択することによって、一定の性能を維持しつつ利用コスト（課金額）を適正化できる。その選択に必要な情報を獲得するために、実際にパブリッククラウド上の VM インスタンスとブロックスレージを使用して解析処理を実施する実験を行い、資源の選択方法や処理の実施方法について検討した。

## 3. ALMA 観測・解析データの長期保管に関する実験

本実験は、ALMA 望遠鏡のデータアーカイブで使用されているアーカイブアプリケーション NGAS (Next Generation Archive System) を AWS 上に移植し、実際の観測・解析データ 58.5TiB（約 1,380,000 ファイル）を AWS のオブジェクトストレージ S3 IA（Infrequent Access）およびコールドストレージ Glacier [4]に格納して性能とコストの評価を実施したものである。

性能面では、NGAS が動作する VM インスタンスや、メタデータ DB を管理する RDS インスタンスなどについて

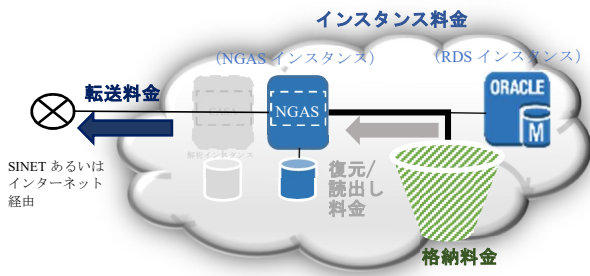


図 2 アーカイブコスト算出モデル



試算の前提:  
900TiB のアーカイブデータを AWS に格納  
年間 550TiB を読出し

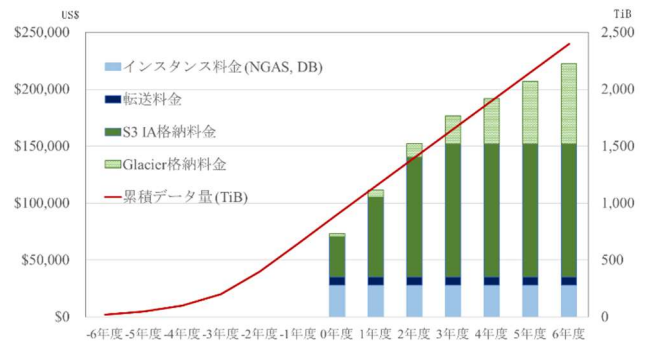
図 3 クラウド上の NGAS 年間コスト

適切なサイジングを行えば、オンプレミスと同等の機能・性能を実現することが可能との結果を得ている[1][3]。

ここでは、アーカイブデータの維持・運用コストの分析結果を述べる。図 1 のハイブリッドクラウドのモデルから、パブリッククラウド上のアーカイブデータの維持・運用コストに関わる部分を抽出すると、図 2 のようになる。

このモデルに基づいて、まず、すべてのデータをパブリッククラウドに置いたとした場合の年間コストを試算した結果が図 3 である。

S3 IA は、アクセス頻度の低いデータの格納を想定した、コールドストレージに近い性格を持つオブジェクトストレージサービスであるが、それでもこれを採用すると、コストの約 80% をデータの格納料金が占める。一方、コールドストレージサービス Glacier を採用した場合は、総コストは 1/2 以下となる。しかし、データ読出しに先んじて、本実験で使用したデータの実測では 200 分程度の時間を要する復元処理が必要となり、しかも、この仕様に対応した NGAS の改造も必要となる[3]。なお、コールドストレージでは、一般に、格納料金を低くする代償として復元処理への課金や読出し課金の割増が行われるが、図 3 の試算では、それが全体コストに与える影響は小さいことが示されている。



試算の前提:

- 初年度アーカイブデータ総量：900TiB
- 年間増加量：250TiB
- オンプレミスストレージ上のデータ保管期間: 3 年
- S3 IA 上のデータ保管：2 年，その後 Glacier に移行
- 年間ダウンロード量：550TiB  
うち 20% は S3 IA から，10% は Glacier から

図 4 ハイブリッド環境におけるアーカイブコスト試算

コールドストレージの長い復元時間と低い格納料金のトレードオフを解決する手段として、パブリッククラウドのオブジェクトストレージサービスとコールドストレージサービス、さらにハイブリッドクラウド構成におけるオンプレミスのストレージを統合した 3 階層の階層ストレージ構成が考えられる。ALMA 望遠鏡データの参照実績では、データの保管期間が長いものほど参照頻度が下がっているため[1]、これをふまえて、一定の保管期間を経過したアーカイブデータを、パブリッククラウドのオブジェクトストレージ、さらにコールドストレージに移行するライフサイクル管理ポリシーを設定し、さらに、これまでの ALMA 望遠鏡のデータ増加の実態[1]を考慮した上で、図 3 における 900TiB のデータ保有時点を 0 年度とした年間コストの推移を試算した。その結果を図 4 に示す。

試算結果からは、以下のような効果が期待できる。

- オンプレミス環境のストレージ投資額を一定とすることができる。
- 2 レベルのクラウドストレージ (S3 IA と Glacier) の併用によって、総データ量の増加に対応してクラウド課金が極度に上昇してゆく状況が回避できる。
- 200 分の復元時間を要する読出しは、全読出しの 10% となり、全体としては、復元処理時間の影響が緩和できる。

なお、NGAS は、もともと複数ホストによる分散構成をサポートしており、このような運用の実現は、比較的容易と考えられる。

表 1 CASA による解析対象データセット

種別	データセット数	解析時間	容量(GiB)	ファイル数
小	3 (#01~#03)	≒1 時間	0.4~ 0.6	99~267
中	3 (#04~#06)	≒5 時間	2.2~ 3.9	240~4,000
大	3 (#07~#09)	≒1 日	9.0~26.1	2,421~3,879
特1	1 (#10)	数日	87.3	456
特2	1 (#11)	数日	307.9	1,548



図 5 CASA による解析の経過時間とインスタンス課金額

#### 4. ALMA 観測データの解析に関する実験

次に、パブリッククラウド上のいろいろな VM インスタンスとブロックストレージ (EBS: Elastic Block Storage) を使用して、ALMA で標準的に使用されている解析ソフトウェア CASA [5] によるデータ解析を実際に行い、その性能とコストを評価する実験を行った結果について述べる。

表 1 に、解析対象の 11 個のデータセットの内容を示す。データセットは、ALMA プロジェクトにおいてすでに解析済のものであり、その際の所要時間実績によって、5 つのグループに分けた。これらを AWS 上 VM インスタンス (CentOS7 搭載) [6] で解析を行い、経過時間を測定した。

解析対象データセット、解析処理中の中間ファイル群、解析結果ファイル群は、当該インスタンスにアタッチされた EBS [7] の同一ボリュームに格納した。これには、4.3 の実験を除いて SSD (gp2) を使用した。swap ファイルを使用した場合 (後述) も、同じボリューム内に定義した。

#### 4.1 種々の VM インスタンスによる解析処理の実行

表 1 に示したデータセットのうち、解析所要時間が「小」「中」「大」「特大 1」の 10 個について、インスタンス世代およびメモリ量の異なる 3 種類のインスタンスで解析を行い、その経過時間を測定した。その結果および経過時間に対応する課金額を図 5 に示す。

本実験では、インスタンスの物理コア数を 4 に固定し、メモリ量を 32GiB、61GiB、244GiB と変化させたが、解析処理中の資源利用状況を分析したところ、10 個のデータセットすべてに関して、メモリ量は 32GiB で十分であったことが判明した。また、実験時点の AWS の提供インスタンス構成では、メモリ量 32GiB インスタンスは最新世代であったが、その他のインスタンスはより前の世代のものであった。従って、この実験における経過時間の差は、インスタンスの世代差によって生じたものであると考えられる。

パブリッククラウド上の解析処理の性能面に関しては、適切なインスタンス (十分な資源量を持ち、できる限り新しい世代) を選択することによって、オンプレミスの性能と比較して十分実用になる性能が得られることがわかった。この場合、コスト面を考慮して、インスタンスの資源量の適切な選択が重要となる。

なお、データセット #10 に関しては、パブリッククラウド上での性能向上が著しいが、これは、オンプレミスでの解析処理時に多コアを利用した並列処理を行っていなかったことが理由であると判明した。

#### 4.2 ブロックストレージとしての SSD と HDD の比較

AWS では、ブロックストレージ (EBS) として、SSD と HDD が選択できるが、実験実施時点の価格設定では、GiB・月あたり SSD (gp2) が \$0.12、HDD (st1) が \$0.05 と 2 倍以上の差がある。そこで、この両者の選択が性能およびコストに与える影響を調査した。

図 6 に、いくつかのデータセットの解析において、SSD と HDD を使用した場合の経過時間とインスタンスおよび EBS の課金額を示す。ここで実測したデータセットに関しては、多くの場合、SSD と HDD の違いによる経過時間の差はわずかである。しかし、データセット #07 では、顕著

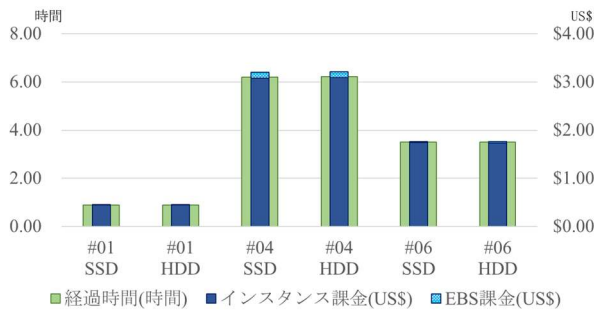


図 6 ブロックストレージに SSD と HDD を使用した場合の比較

な経過時間の差が見られる。これは、必要とされるブロックストレージの容量が、測定したデータセットの中ではもっとも大きく（約 350GiB）、しかも、解析処理中に多量の I/O が発行されているためと考えられる。

ここで注目されるのは、単位時間あたりのインスタンス価格に対してブロックストレージ価格が大幅に低い価格設定となっているために、ブロックストレージを HDD にした場合の課金額減少よりも、HDD による性能低下によって引き起こされた経過時間増大に伴うインスタンス課金増加が大きく、全体としては HDD の場合の課金額のほうが上昇していることである。このことから、ALMA データの CASA による解析に関しては、SSD を選択するのが一般的には得策と考えられる。

### 4.3 インスタンスの動的付替えによるコスト最適化

CASA による解析処理は、キャリブレーションとイメージングの 2 段階からなる。図 7 に処理全体の CPU 使用率の例を示すが、実験中の資源使用量の測定からは、以下の傾向が見られた。

- キャリブレーションは、処理時間の一部を除いて、ほぼ定常的に物理 1 コアしか使用しない。また、使用メモリは定常的には 16GiB 以下と少ない。ピークでは 32GiB 以上などと増加するケースもあるが、その持続時間は短い。
- イメージングは、複数コアで並列処理を行う時間が長い。メモリも 64GiB 以上などと多いケースがある。

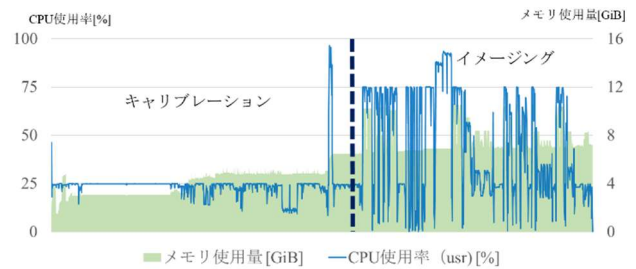


図 7 解析処理の CPU 使用状況の例（#04：4 コア）

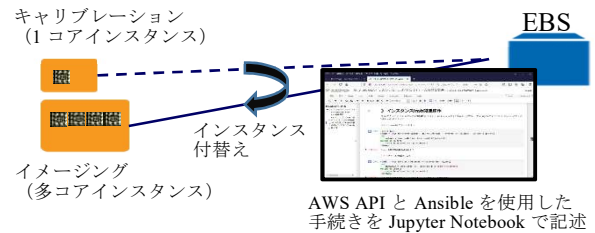


図 8 インスタンスの動的付替えの概要

このことから、キャリブレーションとイメージングで、それぞれに最適なコア数やメモリ量のインスタンスを使用できれば、全体としてコスト（インスタンス課金）を低減できる可能性があることがわかる。

パブリッククラウドの特長の一つとして、いろいろなコア数のインスタンスを動的に配備すること、ブロックストレージとインスタンスの接続関係を動的に変更できること、これらの操作を API によって実行できることがあげられる。これらの特長を利用して、以下のようなブロックストレージに対するインスタンスの動的付替えを試行した。

- 1) 1 コアのインスタンスでキャリブレーションを実行
- 2) 1 コアのインスタンスを停止し、そこからブロックストレージをデタッチ
- 3) 多コアのインスタンスを起動し、そこに 2) でデタッチしたキャリブレーション済の状態のブロックストレージをアタッチ
- 4) 多コアのインスタンスでイメージングを実行

図 8 に、インスタンスの動的付替えの概要を示す。なお、1) から 4) の手順は、Literature Computing for Reproducible Infrastructure [8]の技術を利用し、AWS API の操作とインスタンス内の操作（Ansible 経由）を Jupyter Notebook を使って記述することによって自動化を行い、運用負担の軽減と操作の確実性向上を図った。

図 9 に、データセット #04 に対して、インスタンスの動的付替えを適用した場合の効果を示す。4 コア 32GiB メモリのインスタンスで全体を通して実行する場合に対して、キャリブレーションを 1 コア 8GiB メモリのインスタンス、イメージングを 4 コア 32GiB メモリのインスタンスで実行

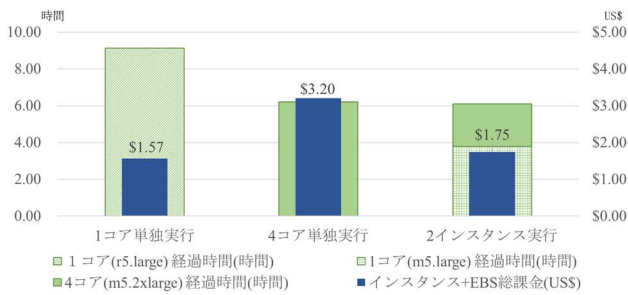


図 9 インスタンスの動的付替えの効果  
(データセット#04)

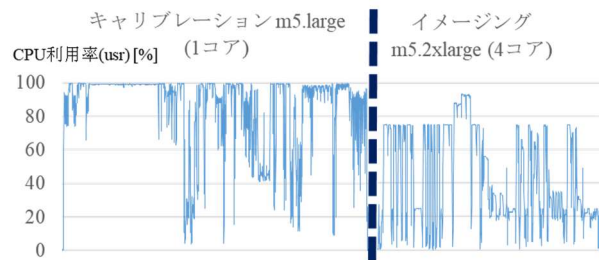


図 10 インスタンスの動的付替えによる CPU 使用率改善

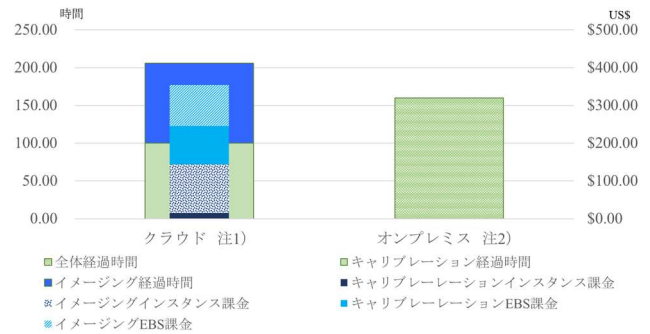
した場合、ほぼ同じ経過時間で 46% の課金額低減が得られている。この場合の CPU の利用率は、図 10 のようになり、CPU 資源 (コア) がより有効に利用されていることがわかる。あるいは、全体を 1 コア 16GiB メモリのインスタンスで実行した場合と比較すると、12%の追加コストで 49% の性能向上が達成できるという見方も可能である。

なお、動的付替えを行う場合は、経過時間に加えて、上記手順の 2)3)に要する時間がオーバーヘッドとして加わることになる。しかし、実験時には (キャリブレーション用のインスタンスをあらかじめ作成して停止しておいた状態で) 約 2.5 分で完了しており、時間単位の経過時間を要する解析処理の場合、実用上の影響は少ないと言える。

#### 4.4 大量のストレージを必要とする解析処理

表 2 に示したデータセット#11 は、データ量が 307.9GiB と大きい。このデータセットは、ALMA の実績では、解析に必要なサーバのメモリ量が大きく、そのままでは解析できなかったものである。そこで、これをパブリッククラウド上のインスタンスで解析する前に、オンプレミスのサーバ上で予備的な解析を行った。特に、実メモリの不足が予想されたため、swap ファイルを設定して解析処理を実施し、資源使用状況を調査したところ、以下の特徴的な動作が判明した。

- ピーク時には約 382GiB のメモリを必要とする。
- 256GiB を超えるメモリ量を必要とするのは、全体の経過時間の 2.1%である。



注 1) キャリブレーションを r5.2xlarge (4 コア 64GB メモリ)、  
イメージングを r5.8xlarge (16 コア 256GB メモリ) で実行  
注 2) 20 コア (40 スレッド) 128GB メモリのサーバを使用

図 11 大量のブロックストレージを必要とする場合  
(データセット#11)

AWS ではメモリ量が 384GiB 以上のインスタンスも提供されているが、メモリ量に合わせてコア数も大きくなり、CASA の動作保証範囲 (指定可能な並列度は 8 まで) では使い切れずに不経済であること、このようなインスタンスは高価かつ全体の経過時間が 100 時間のオーダーであるため、予測の不備によってメモリ不足が発生し解析処理が途中で失敗した場合の損失が大きいことから、十分な量の swap ファイルを設定した上で、キャリブレーションにメモリ 64GiB、イメージングにメモリ 256GiB のインスタンスを選択し、両者を 4.3 の方法で付替えて実行した。図 11 に、このようにして AWS 上で実行した場合の経過時間と課金額を示す。

特徴的なのは、必要なディスク量が 6,15TiB と大きく、さらに実行時間が 200 時間を超えるため、インスタンス課金よりも EBS 課金のほうが大きくなっている点である。また、オンプレミスにおける解析と比較して、全体の経過時間が 30%以上増加している。これはパブリッククラウドのブロックストレージでは、I/O 処理のスループットや IOPS に制約を設けていることに起因すると考えられる。EBS では、追加料金を支払うことによってスループットや IOPS の上限を上げることも可能である。I/O 性能向上によって経過時間が短縮されれば、ブロックストレージの時間課金と合わせてインスタンス課金も下がるために、全体としては課金額が低減される可能性も考えられる。ブロックストレージ性能の最適化指針を得るために、現在、データ量や使用ディスク量が多いデータセットをいくつか追加して、I/O の状況と性能の分析を開始している。

#### 4.5 AWS 上の解析処理の実行指針

本実験の目的の一つは、パブリッククラウド上で解析処理を実行する場合の VM インスタンスやブロックストレージの選択指針を得ることである。パブリッククラウドでは、

一般的に、計算資源の利用量と利用時間に対応した従量課金が行われる。従って、ピーク時の必要量に合わせて用意されるオンプレミス環境の計算資源の構成をパブリッククラウドに単純移行するのはコスト面では最適ではなく、課金額がオンプレミス環境のコストを超えることもある。一方で、パブリッククラウド上の計算資源が解析処理の必要量を満たせない場合は、性能低下によって処理時間が伸び、結果として課金額が増えるような事態や、資源不足により解析処理が中断してそれまでの課金が無駄になってしまうという事態も起こり得る。すなわち、計算資源量を絞り過ぎるのは、解析のスピード面に加えて、コスト面からも、必ずしも最適ではない。

このような条件を考慮しながら、実験対象のデータセットが 11 個と非常に少ない状況ではあるが、ここまでの実験結果から、ALMA データの CASA による解析を AWS 上で行う場合の計算資源の選択指針をまとめてみると、次のようになる。

- 1) ブロックストレージは SSD を標準的に使用する。
- 2) キャリブレーションとイメージングは、それぞれに最適なインスタンスを付け替えて実行する。
- 3) インスタンスのコア数とメモリ量は、必要最低限とする。キャリブレーションでは、1 コア・16GiB メモリ (AWS では r5.large) まで、イメージングでは、最大 8 コア・128GiB (r5.4xlarge) の範囲で選択する。
- 4) swap ディスクあるいは swap ファイルを使用し、実メモリ不足による処理中断を回避する。

なお、図 1 に示したハイブリッドクラウド構成においては、どのようなケースをパブリッククラウド側で解析すればよいかという判断基準も必要である。判断基準の一つに、クラウド課金が事前に予測可能か (課金額が想定を大幅に超えて増大するようなことがないか) ということがあり、この観点からは、以下のようなケースがパブリッククラウド上の実行に向くとと言える。

- 実行時間が比較的短い (1 時間～1 日)。
- CPU 処理が主であり、I/O 負荷が著しく高くない。

逆に、解析時間が長い (複数日に渡る) ケース、大量のディスク (TiB オーダ) を使用するケース、大量の I/O を発行するケースに関しては、クラウド課金が予想外に増大する可能性があり、オンプレミス上で実行するほうが得策であると考えられる。

## 5. 議論

ここまで、ALMA 望遠鏡のデータをパブリッククラウド上で保管・解析する実験結果について説明してきた。これらの実験結果をふまえて、今後の取組みとして、さらに以

下の検討と実験を進めてゆき、パブリッククラウドないしハイブリッドクラウド環境における ALMA 望遠鏡データの保管と解析に関する実践的な知見の獲得を図りたい。

### (1) パブリッククラウド上の解析に必要な計算資源の予測方法の確立

4.5 では、パブリッククラウド上の解析処理の実験結果から、きわめて多様なパブリッククラウドの VM インスタンスやブロックストレージなどの資源の選択範囲をある程度絞り込むことを試みた。しかし、根本的な解決策としては、パブリッククラウドで解析処理を開始する前に、処理対象データセットに対する最適な資源量 (VM インスタンスのコア数・メモリ量、ブロックストレージ容量や I/O 性能要件) を予測する方法を確立することが必要である。

ALMA の観測は観測提案者のサイエンス目的に沿うよう実施されるという特徴がある。同種の観測を繰り返して宇宙を探索するようなサーベイ観測においては、データの性質が一様であり、必要な計算資源量の見積りは比較的正確に行えるのに対して、ALMA の観測では、取得される観測データの性質 (空間分解能や波長分解能、積分時間、サイズなど) は、観測ごとに異なる。従って、データの解析に必要な計算量も大きく変化し、計算資源量の予測を困難にしている。

必要な計算資源量の予測方法の検討に当たっては、まず、観測状況や観測設定を記録したメタデータと過去のデータ解析履歴とを関連付け、処理に必要とされる計算資源の予測に必要な主因子を特定する。次に、これらの主因子から予測された計算資源を実際のパブリッククラウド上に配備し、解析処理を行って、計算資源予測の妥当性を検証する。

現在、計算資源量に関係すると予想されるメタデータをいくつか想定し、それらの性質が異なるデータセットを抽出して実験対象に追加した。これらについて、オンプレミスおよびパブリッククラウド上で実際に解析処理を行い、処理中の CPU コアごとの利用率、メモリ使用量、ブロックストレージ容量、必要とされる I/O スループットや IOPS などを測定し、その結果とメタデータとの関係を調べている。また、サンプル数をさらに増やすために、実際の ALMA の解析におけるログデータの活用なども検討している。

### (2) 最近のクラウドストレージサービスを想定したデータ保管コストの再検討

パブリッククラウドのオブジェクトストレージ、コールドストレージサービスに関しては、ここ 1～2 年で、以下のような提供商品の変化が見られる。

- コールドストレージに関しては、既存大手プロバイダの商品体系が出揃った。また、体系の一環として、従来のコールドストレージサービスよりも、さらにデータ参照頻度の低いアーカイブ用途向けのサービ

ス(格納料金をより低く, 読出し料金をより高く設定)も提供されるようになってきた [4].

- オブジェクトストレージに関しては, ストレージに特化した新興サービスプロバイダが, 特徴あるサービスの提供を開始している. 例として, 既存大手サービスプロバイダに対して相当安価な格納料金設定(1/3 など), あるいは, クラウド外へのデータ転送料金の無料化などを特徴とするサービスがある.

このような状況をふまえて, より広範囲のサービスを対象として, ハイブリッドクラウド環境におけるデータ保管コストに関する試算を実施し, 階層化ストレージの構成・運用方法に反映させてゆく.

## 6. まとめ

ハイブリッドクラウド環境における ALMA 望遠鏡のデータ保管・解析のベストプラクティスを確立するための最初のステップとして, これらのデータをパブリッククラウド上で保管・解析する実験を行った結果について報告した. 実験からは, 以下のことが明らかになった.

### 1) データの保管 (アーカイブ)

オンプレミスのストレージ, クラウドオブジェクトストレージ, クラウドコールドストレージでデータの保管期間に対応した階層化ストレージを構築することによって, オンプレミス環境のストレージ投資額を一定に保ちつつクラウド課金の上昇を抑制し, さらに, クラウドコールドストレージの復元処理時間の影響を緩和することができる.

### 2) データの解析

クラウド上の計算資源を適切に選択すれば, 現在のオンプレミスのデータ解析環境と比較しても十分実用となる性能が得られる. また, クラウドの特性を生かしたインスタンスの動的な選択・付替えによって, パブリッククラウドの課金額を低減することが可能である. これらの解析を行う際のクラウド資源の選択に関する実際的な情報も得られている.

はじめに述べたように, ALMA をはじめとするビッグサイエンス分野においては, オンプレミスのシステムの存在を前提としたハイブリッドクラウドの一環として, パブリッククラウドを利用してゆくことになると考えられる. ハイブリッドクラウド環境においてデータの処理を行う場合, 5.で議論したデータ処理の資源利用の特性に加えて, 3.の実験で述べた処理対象となるデータの保管場所, パブリッククラウドとオンプレミスシステム間の転送性能や転送コスト, これらによって決まる所要時間予測・コスト予測を考慮して, どの処理をパブリッククラウドで実行するのが

適切かという判断を行い, 適切であるものは動的に環境を立ち上げて処理を行うというワークフローの確立が目標となる. この目標に向けて, 実験による実践的な知見やノウハウの取得をさらに進め, ベストプラクティスの蓄積と大学・研究機関における共有を進めてゆきたい.

**謝辞** 実験を進めるにあたりデータやソフトウェアの提供と, ご指導・ご助言をいただいた各研究機関の皆様, 実験に必要なクラウドサービスの調達をご支援いただいた関係者の皆様に, 謹んで感謝の意を表します. この研究は 2021 年度国立情報学研究所公募型共同研究 (採択番号 21FA04) の助成を受けています.

## 参考文献

- [1] 小杉城治, et al. パブリッククラウドを利用した ALMA 観測データの品質保証実証実験. 宇宙科学情報解析論文誌, 2021, vol. 10, p.97-108
- [2] 吉田浩, et al. クラウドコールドストレージに対する大量データ格納の試行と評価. 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2017, vol. 2017-HPC-160, no. 25, p.1-8.
- [3] 吉田浩, et al. クラウドコールドストレージに対する大規模実験データ格納のケーススタディ. 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2018, vol. 2018-HPC-165, no. 8, p.1-8.
- [4] “Amazon S3 ストレージクラスを使用する”. [https://docs.aws.amazon.com/ja\\_jp/AmazonS3/latest/userguide/storage-class-intro.html](https://docs.aws.amazon.com/ja_jp/AmazonS3/latest/userguide/storage-class-intro.html) (参照 2022-05-02).
- [5] “CASA - Common Astronomy Software Applications”. <https://casa.nrao.edu> (参照 2022-05-02).
- [6] “インスタンスタイプ”. [https://docs.aws.amazon.com/ja\\_jp/AWSEC2/latest/UserGuide/instance-types.html](https://docs.aws.amazon.com/ja_jp/AWSEC2/latest/UserGuide/instance-types.html) (参照 2022-05-02).
- [7] “Amazon EBS ボリュームの種類”. [https://docs.aws.amazon.com/ja\\_jp/AWSEC2/latest/UserGuide/ebs-volume-types.html](https://docs.aws.amazon.com/ja_jp/AWSEC2/latest/UserGuide/ebs-volume-types.html) (参照 2022-05-02).
- [8] 長久勝, et al. Notebook を介した作業ノウハウの継承・移転を分析するための基盤. 情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT), 2019, vol. 2019-IOT-44, no. 16, p.1-6.