

## 論文の内容の要旨

**論文題目** データベースエンジンにおけるクラウド資源の高次利用手法に関する研究  
(A Study on Sophisticated Utilization of Cloud Resources for Database Engines)

氏 名 奥野 晃裕

IT システムにおいてクラウドと呼ばれるサービスの利用が広まっている。クラウドは仮想化された資源をネットワークを介してユーザに提供するサービスである。計算機環境としてのクラウドは、サーバを自ら保有・管理する従来のオンプレミス環境と異なり、全ての資源は仮想化されたものであり、一つのシステムを複数のユーザが共有して利用するマルチテナント方式が主流となっている。クラウド環境においてユーザはオンデマンドに迅速な資源の調達・破棄が可能であり、クラウド環境が提供する新たな機会としてユーザに広く受け入れられている。その一方で、クラウド環境における資源の利用にあたっては、資源が仮想化されていることによりオンプレミスと比べて均質な資源を確保することが困難である、またビジネスから生じるワークロードの変動性が従来に比べてより動的になってきているといった、システムに対する新たな課題が生じる。従来のソフトウェアの多くはオンプレミス環境において実行されることを前提に設計されているが、クラウド環境における当該課題を踏まえた設計を行うことによって、よりクラウド環境に適合した資源の利用が可能になると考えられる。

一方、全世界で生み出されるデータ量は2年ごとに2倍になるとも予想されており、ビッグデータとも呼ばれる当該大規模データの解析による利活用が競争優位性の源泉となるとされている。高速なビッグデータ解析のためには多くの資源が必要となるが、価格性能比の観点から、単体あるいは少数の高価で高性能なサーバを用いるのではなく、多数のコモディティサーバをネットワークで接続するクラスタシステムが用いられることが多い。当該クラスタシステムにおいて、クラウド環境はシステム運用開始前の予測需要のみではなく運用開始後の実需要に基づいたインスタンスの構成やインスタンス数の迅速な変更が可能になるなどの利点があり、ビッグデータ解析システムにおけるクラウド環境の利用が広がっている。並列データベースエンジンは複数のサーバを用いてクエリ処理を並列化することによってクエリ実行を高速化するデータベースエンジンであり、ビッグデータ解析に利用される主なクラスタシステムの一つである。従来の並列データベースエンジンの多くはオンプレミス環境を前提に設計されており、クラウド環境において十分に適合しているとは言えない。ビッグデータ解析におけるクラウド環境の資

源を利用するにあたって、クラウド環境により適合した並列データベースエンジンの設計が重要になるものと考えられる。

本論文では、クラウド環境における課題である、ワークロードの動的変動性ならびに資源の非均質性という2つの課題に着目する。本論文では、並列データベースエンジンの代表的なアーキテクチャの一つである共有ストレージ型並列データベースエンジンについて、ワークロードの動的変動性に対してはクエリ実行時の動的資源伸縮を実現する資源調整手法を、ならびに資源の非均質性に対しては動的資源非均質性吸収を実現する負荷分散手法を提案することにより、クラウド環境に適合しクラウド資源の高次利用を可能とする並列データベースエンジンの実現を目指す。

オンプレミス環境においては、一般にサーバの調達開始から実際にサーバが利用可能になるまでは数週間から数ヶ月の時間が必要であり、サーバの破棄についても即座に行うことはできないが、クラウド環境では、ユーザはオンデマンドに仮想化されたサーバであるインスタンスの調達・破棄が可能であり、当該調達・破棄の実行は数分程度で完了する。クラウド環境では実際の需要の変動に応じて即座にインスタンスの割当てを変更することが可能であり、オンプレミス環境と比べて、余剰資源量の削減、需要予測の外れによる資源不足の回避が可能となる。本論文では、システムにおいて要求に応じて割当て資源を調整可能な性質のことを、資源伸縮性と称する。

並列データベースエンジンにおける資源伸縮性について、一部のクラウド試行並列データベースエンジンでは再起動することなく構成を変更し、データベースエンジン全体に対する資源の割当てを調整することを可能としている。本論文では、当該資源伸縮性を静的資源伸縮性と称する。しかしながら、データベースエンジンにおいて主に資源を利用するものはクエリの実行であり、静的資源伸縮性のみでは実行中のクエリに割当てられる資源の量は一定であるため、利用されている資源という観点においては資源伸縮性が実現されているとは言えない。

本論文では、クエリの実行中に任意のタイミングで実行中クエリへの割当て資源を調整可能である性質を動的資源伸縮性と称し、共有ストレージ型データベースエンジンにおいて、演算資源の動的資源伸縮を実現する、動的演算資源調整手法を提案する。提案手法によって、演算資源がクエリの実行速度を律速している状況において、実行中のクエリに割当てた演算資源を調整することによって、クエリの実行速度を加速、あるいは減速させることが可能となる。本論文では、提案手法を実装した共有ストレージ型データベースエンジンの試作を示し、AWSを用いた当該試作による評価実験を示し、その有効性を明らかにする。

クラウド環境におけるインスタンスは、クラウド事業者が所有するデータセンタに収められたサーバを仮想化して提供されているものであり、ユーザが均質なインスタンスを常に確保することは困難である。即ち、クラウド環境ではインスタンスは動的な非均質性を有しており、複数のインスタンスを組み合わせる利用するクラスシステムにおいて、クラウド環境の資源を高効率で利用するためには、クラウド環境の動的資源非均質性を吸収することが必要となる。一方、オンプレミス環境では、自らハードウェアを所有・管理するため、複数のサーバを組み合わせ

て利用するクラスタシステムを構築するにあたって、各サーバの能力を均質なものにすることは容易である。従来の並列データベースエンジンの多くはオンプレミス環境を前提としているため、均質な能力のサーバを用いてクエリが実行されることを想定しており、クエリ実行においては各サーバに可能な限り等しい仕事を割り当てる。クエリ実行に用いるサーバの能力が均質でない場合、各サーバに等しい仕事を割り当てると、低い能力のサーバの負荷が相対的に高くなり、サーバ間の負荷の偏りが生じてクエリ全体の実行速度が低下する。非均質なサーバ性能に起因するクエリ実行速度低下を軽減するためには、各サーバの能力に応じて負荷を均衡化する負荷分散手法が必要となる。クラウド環境におけるサーバの能力は動的に非均質であるため、並列データベースエンジンにおいてクラウド環境の資源を高効率で利用するためには、クエリ実行時に得られる情報を用いて各サーバの能力を推定し負荷を均衡化する動的負荷分散によって、クラウド環境の動的資源非均質性を吸収する必要がある。

本論文では、共有ストレージ型並列データベースエンジンについて、並列データベースエンジンにおける主な結合方式であるハッシュ結合とインデックス結合の両方について、動的資源非均質性を吸収する負荷分散手法を示す。ハッシュ結合とインデックス結合の両方について動的負荷分散手法を示すことによって、広範な選択率において優位な結合方式を選択しつつ動的負荷分散による実行速度の向上が得られることが期待される。本論文では、提案手法を実装した共有ストレージ型並列データベースエンジンの試作実装を示し、AWSを用いた評価実験によってその提案手法の有効性を明らかにする。

以上をまとめると、本論文では、並列データベースエンジンにおいてクラウド資源の高次利用を可能とするため、並列データベースエンジンのクラウド環境への適合性を高める二つの手法を提案し、その有効性を明らかにするものである。即ち、動的演算資源調整手法による並列データベースエンジンにおける資源伸縮について論じ、動的負荷分散手法による演算資源の動的非均質性の影響の軽減について論ずる。