Vol.2016-DBS-163 No.4
Vol.2016-IFAT-123 No.4
2016/9/13

# 広域高密度リアルタイム気象レーダデータへの高速アクセスを実現するWebAPIシステム

近藤 亮磨[1,a)]　伊藤 昌毅[3,b)]　小林 亘[2,c)]　岩井 将行[1,d)]

概要：近年まで状況把握等の画像としての利用が主であった気象レーダは，レーダ技術の向上により比較的正確な観測が可能となり数値としての利用が可能となってきている．一方，ウェブ上の複数の情報源から様々なデータを組み合わせることで，新しいデータの価値を創出し一つのウェブサービスとするマッシュアップが普及してきており，特に時間及び場所をキーとして組み合わせたサービスが多く有用とされている．そこで我々は，気象の中でも雨が社会的影響が大きいことに注目し，国土交通省が都市圏を中心に日本各地で広域に整備したXBandMPレーダネットワークであるXRAINのデータを元にマッシュアップに適したWebAPIとしてXRAIN WebAPIシステムを開発し，その評価を行った．

## 1. はじめに

レーダを用いて遠隔から気象を測定するための地上レーダや人工衛星が配備されてきている．レーダを用いた気象観測は，地上に観測所を設置し定期的に観測する方法と比べて空間的に広範囲かつ高精細な観測が可能となる．加えて，観測員が観測地点を訪れて動的に観測する方法と比べて，空間的に一様な観測や，各測定地点において同時刻かつ常に最新の観測が可能な特長がある．

本論文では，気象レーダデータとして代表的かつ重要な雨量レーダデータについて考える．これは気象変化による人間の生活や社会への影響としては，即時性や被害の大きさ，身近さという側面を考慮すると雨によるものが最も影響があるためである．交通では，2013年6月25日には局所的なゲリラ豪雨により新宿駅が浸水，2014年9月25日には名古屋駅が冠水し交通状況に大きな被害を与えた．更に直接的には，局所的豪雨により2014年8月20日に広島市安佐北区及び安佐南区で発生した土砂災害や，2016年6月に九州南部に降った記録的な豪雨による相次ぐ土砂災害による被害は，多くの人命や財産を奪った．また傘の購入や雨を避ける経路等の雨による消費者行動変化に着目したマーケティングへの応用や，傘の所持や洗濯物の取り込み等の生活との関わりも大きい．

雨量レーダデータを数値としての利用に適したデータベースシステムを検討する必要がある．近年まで雨量レーダは，降雨地域を見つける等の降雨状況の把握を目的とした画像としての利用が主であった[1][2][3]．しかしマルチパラメータ（以下，MP）レーダ等の技術の向上により雨量等の正確な数値の観測が可能になってきている[4]．このため，より高度な警報の発令や数値による基準に基づいた防災対策の制定が可能となり数値としての利用に適したシステムが必要になってきている．

一方，ウェブ上の複数のデータセットから様々なデータを組み合わせることで，新しいデータの価値を創出し一つのウェブサービスとするマッシュアップが普及してきている．多種多様な組織が所有するデータをウェブ上で公開するためにWebAPIが整備され容易に異なるデータを組み合わせることが可能となった．またWebAPIとしてデータを提供することで，新規アプリケーション開発の際に，データの管理及び取得部分が共通化され，工数の削減だけでなく実装時の不具合混入リスクが低減される．

そこで我々は日本各地に配備された雨量MPレーダシステムであるXRAIN[1]のデータを元にマッシュアップに適したWebAPIとしてXRAIN WebAPIシステムを実装し，その評価を行った．

本稿の構成は以下のようになる．第2節で要件を整理し，第3節で関連研究を論じ，第4節で我々の開発したXRAIN WebAPIシステムの特徴を述べ，第5節で評価し，第6節で考察し，第7節でまとめる．

## 2. XRAIN WebAPIシステムの要件

気象レーダデータは「広範囲」「時空間的に情報量が均一」「更新される」という特徴を持つ.XRAINでは，災害リスク

1 東京電機大学大学院未来科学研究科情報メディア学専攻
2 東京電機大学研究推進社会連携センター
3 東京大学生産技術研究所
a) kondo@cps.im.dendai.ac.jp
b) mito@iis.u-tokyo.ac.jp
c) wkoba@mail.dendai.ac.jp
d) iwai@im.dendai.ac.jp

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

の高い主要都市を中心とした日本各地に雨量レーダが配備され，地方ごとにレーダの観測データが合成され，リアルタイムに 1 分ごと 250 m メッシュごとの雨量強度が配信されている．メッシュは総務省 4 分の 1 地域メッシュ [5] に準じた 1 辺が約 250 m の矩形である．雨量強度は 1 時間降り注いだ場合に溜まる雨量の瞬時値である．

河川管理や気象分野の広域な流出解析では広域メッシュの雨量強度を必要とするが，WebAPI では，利用者が位置するメッシュと時空間的に近傍メッシュの雨量強度を知ることができれば十分である．典型的な利用において，任意の時刻・場所による雨量強度の取得を基本とし，重み付き平均を計算するための 8 近傍メッシュ取得や，管理区画の形でのメッシュ取得，任意時刻の前後 30 分の取得等の時空間的近傍メッシュの取得が典型的なクエリとなる．地下鉄の駅や商業施設等の地下施設向けの浸水対策アラートアプリケーションであれば，空間的にはそれらの施設の形で，時間的には地域の排水能力に応じて現在から任意の時間まで遡った範囲の雨量データが要求される．また防災無線や避難等の管理や判断を行う場合は，市区町村等の行政は行政区画の形，鉄道や道路の管理者は道に沿った線状での，強い雨が降り出した任意の時刻からの雨量強度の推移を確認するクエリとなる．その他に，干してある洗濯物が雨に濡れないようにするために雨雲が近づくとアラートを発するアプリケーションであれば，洗濯物が存在するメッシュ及び近傍メッシュを取得するレンジクエリが考えられる．対照的に，最大降雨の場所を探す等のデータ内容をキーとして場所を探すクエリは少ない．それらの要求は従来の画像としての活用によってすでに満たされているためである．

以上を踏まえ，以下に各要件を詳しく述べる．

要件 **1:** 高速なデータストア

雨量レーダデータの WebAPI での公開には, 毎分ごとに全域のデータが新しく更新されるため「高速なデータストア」が必要となる．XRAIN では 1 分ごとにデータが配信されるため 1 分以内に全域のデータストアを完了する必要がある．加えて，長期運用がされるためストアされたデータ量が増加した場合でも高速なデータストアができる必要がある．

要件 **2:** 高速なデータアクセス

多数のユーザによる同時アクセスが発生が発生するため「高速なデータアクセス」が必要である．WebAPI によるデータ公開は, シンプルな 1 対 1 のデータ配信と比較して, 多数のユーザが同時にアクセスするため高速なデータアクセスの実現が必要となる．1 件のクエリに必要なアクセス時間を少しでも短くできれば, より多くのユーザが同時にアクセスが可能となる．

要件 **3:** 多様な形を表現可能なクエリ

WebAPI は HTTP 通信で行われるため，任意のデータをできるだけ少ないクエリで指定できることが好ましい．クエリの回数が増えると通信コストが高くなり結果として低速となる．また近年モバイルや IoT が普及してきており，雨量データを提供する WebAPI へのアクセスも，主にそれらの通信コストが高い回線を通じて行われると想定されるため, 複数クエリが発生する設計は適切ではない．典型的な利用では，空間的には近傍メッシュの雨量強度を取得する様々な形となり，時間的には利用目的により指定時刻も時間範囲も異なるため，時空間的に多様な形を表現できるクエリが必要となる．

要件 **4:** わかりやすいデータ形式

マッシュアップは従来とは違った分野でのデータの活用や，他分野のデータを組み合わせて新たな価値を創出するという特性上，気象分野以外の者にとっても読みやすいデータ形式での公開が必要となる．各分野が共通のアクセスインタフェースとして WebAPI 形式をとったことからマッシュアップが普及したように，WebAPI によって取得されるデータ形式も，それが何を意味する数値であるか判りやすい形式であることが好ましい．

## 3. 関連研究

データを公開するシステムは，データストア部とデータ提供部の 2 つによって構成される．このようなシステムの開発には，データストア部として PostgreSQL[6], MySQL[7], SQlite[8] 等のリレーショナルデータベース（以下, RDB）が一般的である．RDB は木構造を用いてデータストアをしているため汎用的に利用でき $O(log_n)$ でのアクセスが可能であるが，データが追加されるたびに木の再構成が発生するため，データ量が多くなるにつれてデータストアは低速となる欠点がある（図 1-1）．また木構造の多次元空間データへの応用も提案されているが，いずれも多次元空間においてデータに偏りのあるデータセットをどのように木構造として扱うか論ずるもので，気象レーダデータのように時空間的に一様に存在するデータに対しては有効とはいえず最適ではない．

一方, 多次元空間データに適した高速な配列型データベース ArrayDB（以下，ADB）として rasdaman[9][10][11], SciDB[12][13] 等が提案されている．これらは，データを配列構造によってストアするため，各次元の値から一意にデータの位置が決まるため $O(1)$ で任意のデータにアクセス可能な特長を持つ（図 1-2）．しかし配列構造であるため時空間的に偏りのあるデータのストアには向かず，また空値のためのデータ領域も確保しなければいけない点や，最大値検索などの格納されたデータ内容を条件とした検索は $O(n)$ となる欠点が存在する．ADB は津波のデータ解析 [14] や遺伝子解析 [15] 等の高速アクセスが最優先されるビッグデータ解析の分野で活用されている．

気象レーダデータは時空間的に一様であるため，ADB の適用が好ましいと考えられるが，マッシュアップ応用を目

Vol.2016-DBS-163 No.4
Vol.2016-IFAT-123 No.4
2016/9/13

的とする場合，データ提供方法は広く一般に利用されている形であることが好ましい．

従来の気象レーダデータの提供はファイルによって行われるものが一般的である．河川情報センターのレーダ雨量や気象業務支援センターの気象衛星ひまわり８・９号の衛星による観測のデータは，独自ファイル形式を圧縮し配信している [16][17]. これは様々な形のクエリに対応できないほか，他分野の者にとって判りやすいデータ形式とはいえず，マッシュアップには適していない．

Yahoo! Japan の気象情報 API は緯度経度による位置を指定することで，その場所の雨量強度の取得が可能な WebAPI を提供しているが，空間では 1 点の指定，時間では現在，現在から 1 時間，現在から 2 時間の 3 種の指定しかクエリで表現することができない．[18].

OpenStreetMap 等で利用されるタイル地図形式に準拠してデータ提供する手法も提案されている [19]．雨量強度の画像としての配信は北本らのデジタル台風 [20] ほか，Yahoo! Japan による雨雲レーダー地図で配信されている．タイルを用いた数値としての配信は，国土地理院によって標高情報を数値タイルとして配信している [21] ほか，産業技術総合研究所は画像の色情報に数値をエンコードすることで標高を表現する PNG 標高タイルを提案している [22]. これらのタイルによるデータ提供は，ズームレベルに応じて指数的に生成しなければいけないファイル数が増えるため，データストアに時間がかかり，高頻度で更新される気象レーダデータには向かない．

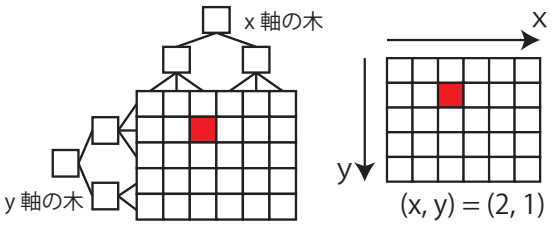



図 1-1 RDB 概念図　　図 1-2 ADB 概念図

図 **1**　データ構造概念図

## 4. XRAIN WebAPI システムの開発

前節を踏まえ，我々は XRAIN の雨量データを用いて「高速なデータストア」,「高速なデータアクセス」,「多様な形を表現可能なクエリ」,「わかりやすいデータ形式」の 4 要件を満たす WebAPI システムを実装した．

### 4.1 WebAPI システム全体像

XRAIN WebAPI システム（図 2）は，XRAIN によって観測された雨量強度（以下，レーダ雨量）を配信する河川情報センターのサーバより，「（１）1 分ごとにダウンロードし高速データベースに蓄積する機能」及び「（２）時間及び場所によって指定されるユーザ要求に応じたレーダ雨量を高速データベースから切り出し JSON 形式に変換し公開する機能」の２つの機能によって構成される．

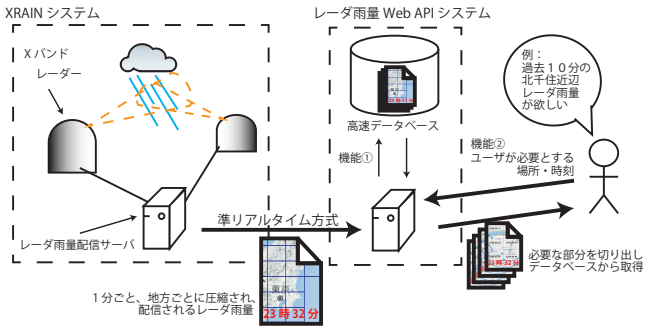



図 **2**　提案システム概要図

### 4.2 システムの特徴

我々の開発した XRAIN WebAPI システムは，以下の 3 つの特徴を持つ．

特徴 **1: ArrayDB** による高速なデータストア及び主な利用要求に対する高速な応答の実現

関連研究で述べた ADB を適用することでストア済みのデータ量に拠らず高速なデータストアが可能となる．RDB ではデータを追加するたびにツリー構造の再構成が発生するが，ADB ではストア済みのデータ構造を変えずに追加ができる．また汎用的に使える RDB と比較して，WebAPI に対する要求としてほとんどない「降雨地域の検索」等への応答で低速となるが，主な利用要求に対する高速な応答が可能となる．ADB では，一意にデータの格納アドレスが定まるため，指定された時刻及び場所のレーダ雨量データにアクセスできる．ツリー構造を用いない ADB は空間的に偏りのあるデータに適さない欠点があるが，気象レーダデータは「時空間的に情報量が均一」特徴を持つため，問題にならない．

特徴 **2:** 複数矩形合成による多様なクエリ形状表現の実現

空間的には複数の矩形を列挙することで複数矩形を合成した形のレンジクエリ（図 3）に対応した API デザインを実現した．1 回のクエリで，様々な形に対応が可能となりつつ，不必要なメッシュデータを取得しない汎用的なメッシュの指定を可能となる．また時間的には，Google 検索の期間指定 [23] に準拠し，開始時刻（min）及び終了時刻（max）の 2 つによって範囲を指定できる．これにより，典型的な利用において，クエリの実行回数が 1 回となることに加えてメッシュを指定するパラメータが最も短くなる．単純な矩形による表現では，クエリの形が歪であるほど不必要なメッシュのデータまで取得してしまい通信コストが増大する．要求するメッシュを列挙による表現では，クエリの実行回数が 1 回となるが，メッシュを指定するパラメータが最も長くなるため，通信コストが高い回線で問い合わせるメッシュ数が増えるほど応答が遅くなる．

特徴 **3: JSON** によるマッシュアップに適した形式の実現

JSON 形式でのデータ取得を適用することで，PHP や

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-DBS-163 No.4
Vol.2016-IFAT-123 No.4
2016/9/13

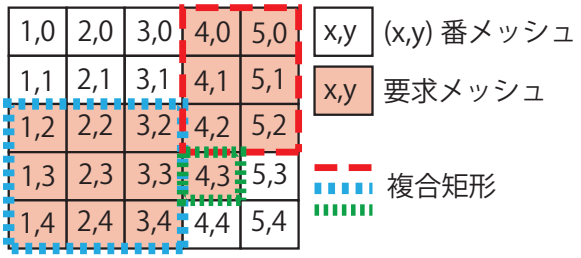



図 **3** 提案する複数矩形合成概念図

Javascript 等の多くの言語で平易に解釈することが可能となる．また JSON では観測におけるデータの品質情報や雨か雪等のデータについて，それが何を示すか判りやすい形で明らかにすることが可能なため，他分野の利用者が扱いやすくなる．図 4 に本システムで提供される JSON の例を示す．JSON 形式は階層構造で表現される．

```
{"XbandMPRaderAPIData":[
    {"ObsrvtnTime":"2016-08-22T11:33",
      "raindata":[
        {"meshcode":"5339469433",
          "quality":9,
          "rain":96
        },
        {"meshcode":"5339469434",
          "quality":9,
          "rain":62
        }
      ]
    },
    {"ObsrvtnTime":"2016-08-22T11:32",
      "raindata":[
        {"meshcode":"5339469433",
          "quality":9,
          "rain":44
        },
        {"meshcode":"5339469434",
          "quality":9,
          "rain":47
        }
      ]
    }
  ]
}
```

図 **4** JSON データ例（meshcode=5339469433-5339469434 min=2016-08-22T11:32&max=2016-08-22T11:33）

## 5. 評価

XRAIN WebAPI システムを各要件の観点から，ADB と RDB によるデータベースの違いの評価及びメッシュ指定方法の違いの評価を行った．

実験環境は表 1 の通りである．データベースは，データ構造の違いによる速度の比較を行うため，ADB として我々の実装したデータベースシステムを用い，RDB には，できるだけ木の特性以外に高速化の工夫がされていないプリミティブな実装がされている SQLite を選定した．

評価用データとして 2016 年 7 月 21 日降雨時の XRAIN のレーダ雨量を用いた．レーダ雨量は，1 分・1 メッシュごとに 4 ビットの品質フラグと 8 ビットの雨量強度として配信されている．雨量強度は 0.1 を最小単位とし，0〜409 mm/h の範囲で表現される．品質フラグは，「1．有効なデータ（観測範囲内で，非降水エコーや異常値ではない）」，「2．降雨減衰による電波消散領域」，「3．主に KDP による降雨強度推定を使用」，「4．降雨のみ（降雪層，融解層は含まない）」の 4 種類がある．

表 **1** 実験環境

| | |
|---|---|
| OS | Ubuntu 14.04.4 LTS 4.2.0-42-generic Linux |
| file system | ext4 (block size 1024 byte) |
| CPU | Intel(R) Core(TM) i5-5257U CPU @ 2.70GHz |
| メモリ | 16333276 kB |
| RDB | SQLite 3.13 |
| ADB | Java による実装 |
| http server | Apache Tomcat 7.0.70, localhost |
| メッシュ数 | 約 1,000,000 件 (関東全域/分) |

### 5.1 データ追加時にかかる時間の評価

観測範囲の拡大や，より高精細な観測に備え 1 回に挿入するメッシュ数を増やした際の追加にかかる時間の変化を ADB 及び RDB で比較し，その後，長期運用に向けて，ストア済みのメッシュ数に応じたデータの追加時間について評価する．1 回の追加メッシュ数が増加した場合とストア済みのメッシュ数が増加した場合の両方において，RDB では追加時に木の構成をするためメッシュ数の増加に伴い $O(log_n)$ で低速となる，一方 ADB では木の構成を行わず配列構造でストアされ $O(1)$ で追加されるためメッシュ数に拠らず高速なストアを実現している（図 5，図 6）．

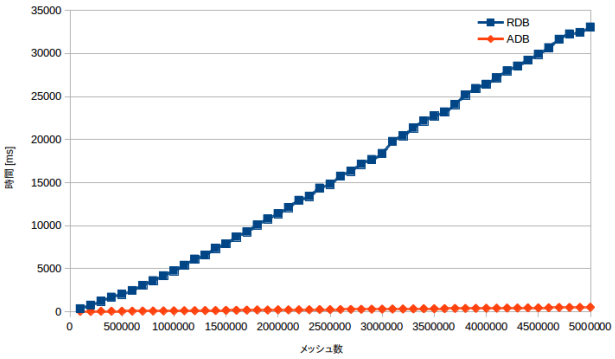



図 **5** 1 回に追加するメッシュ数に応じた追加時間

### 5.2 データアクセスにかかる時間の評価

典型的なデータアクセスである場所及び時刻を指定する時空間的なレンジクエリに含まれるメッシュ数に応じた応答速度を RDB 及び ADB を用いてそれぞれ評価する．その後，長期運用に向けてストア済みのメッシュ数の増加に伴うアクセス応答時間の増加について評価する．

メッシュ数に応じた応答速度の計測のために，データベースには関東全域の 8 時間程度の観測データとなる 5 億個のメッシュをストアし比較を行った．現実的なレンジクエリに含まれるメッシュ数では，1 回のアクセスで ADB は

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

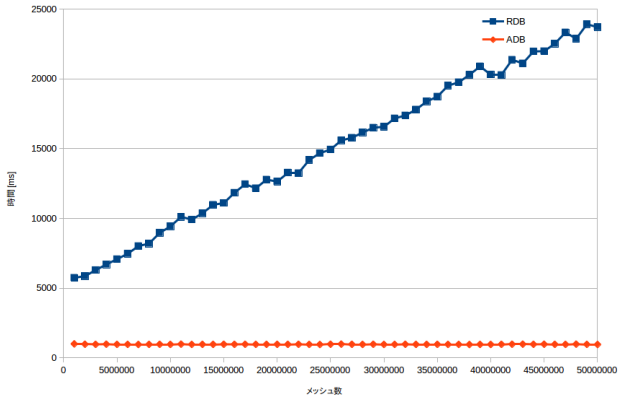



図 **6**　ストア済みのメッシュ数に応じた追加時間

RDB に 1,000 倍高速となることを示している（図 7）．また要求するメッシュ数が膨大になると，RDB の応答時間が一定となり RDB が優位となる（図 8）．

次に，ストア済みのメッシュ数が増加すると，RDB ではストア済みのメッシュ数に応じてツリー構造の木の高さが伸び，それに応じて応答時間が長くなる一方，ADB では，ストア済みのメッシュ数に拠らず一定の高速なアクセスを示している（図 9，図 10）．

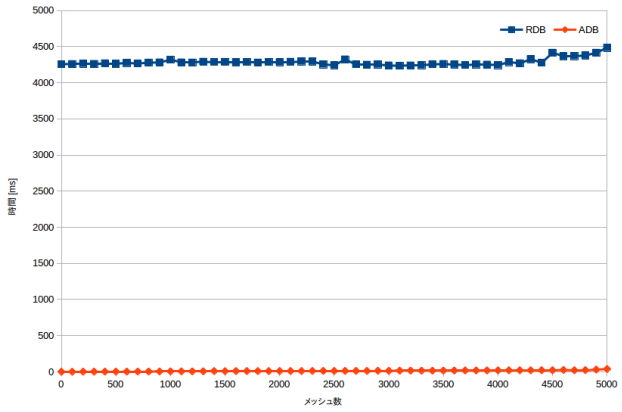



図 **7**　1 クエリで要求するメッシュ数に応じた応答時間
(現実的なサイズのクエリ)

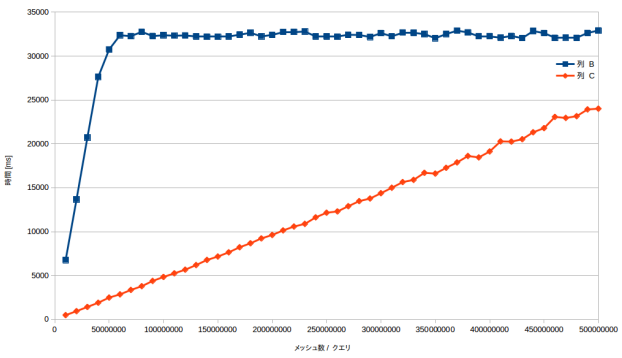



図 **8**　1 クエリで要求するメッシュ数に応じた応答時間
（大きいサイズのクエリ）

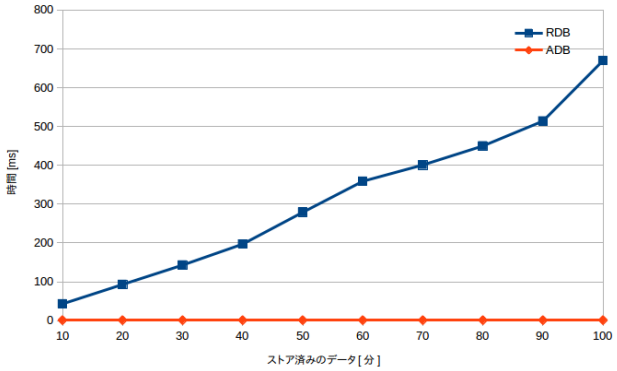



図 **9**　ストア済みメッシュ数に応じた 5,000 メッシュのアクセス時間

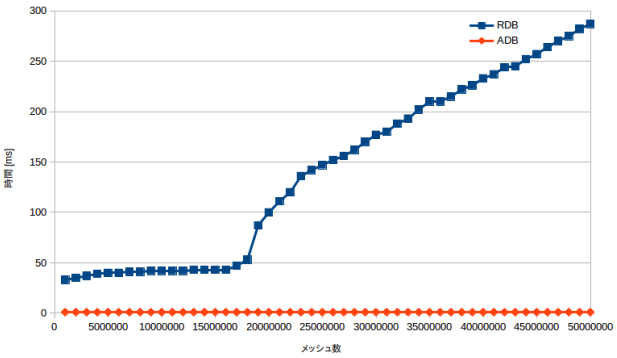



図 **10**　ストア済みメッシュ数に応じた 1 メッシュのアクセス時間

### 5.3　メッシュの指定方法の評価

レンジクエリの実現において，単一メッシュの取得を複数回繰り返す個別リクエストと複合矩形合成による一括リクエストのそれぞれにおける任意の領域データの取得にかかる応答時間を比較した．計測単位が 1ms の環境において，違いを明確にするため 1,000 回計測を行いその合計時間で評価する．個別リクエストではメッシュの数だけリクエストが発生するため，要求するメッシュの増加に伴い低速となる（図 11）．通信データ量の増加による速度低下よりも，リクエスト回数の増加による影響の方が大きい．

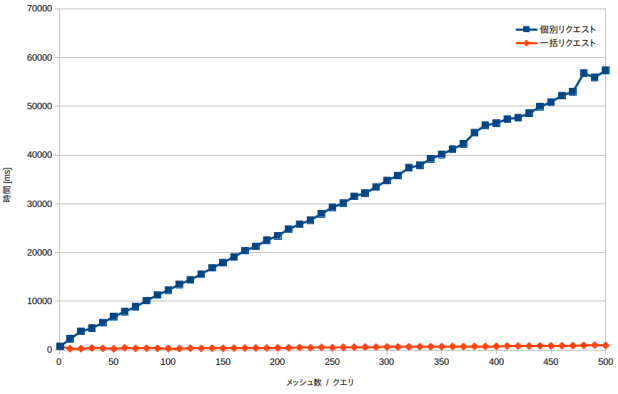



図 **11**　メッシュ指定方法の違いによる応答速度の比較

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

## 6. 考察

高速なデータストアの観点では，長期運用によりストア済みのデータ量は膨大になるため，ストア済みのデータ量が増加しても高速データストアを可能とする ADB の XRAIN WebAPI システムへの適用は効果的である．また評価は関東地方のデータのみで行ったが，対象範囲の拡大や，より高精細な観測を行った場合においても ADB は高速なデータストアを実現するため ADB の適用は適切である．

高速なデータアクセスの観点では，典型的なクエリは 1 回のアクセスで最大でも数千メッシュを取得するものであり 1 回のアクセスで数億メッシュを取得することはネットワーク負荷の観点から希少であるため，典型的なアクセスにおいて 1,000 倍高速なアクセスを実現している ADB の適用がふさわしい．

また典型的なクエリは時間的にも空間的にもレンジクエリであるため，複合矩形合成による一括リクエストによって高速なデータアクセスが実現されている．

以上より XRAIN WebAPI システムの有用性が示された．

## 7. まとめ

リアルタイムに更新される気象レーダデータのマッシュアップ活用に向けて,WebAPI に必要な要件を定義した．それ踏まえて我々は XRAIN WebAPI システムを開発し, 典型的な利用における有用性を実験により評価した．今後はユーザの利便性評価を行う予定である．

## 謝辞

本研究は，一般財団法人河川情報センターの委託研究「河川情報数値データ（X-Rain）の提供形式に関する調査研究」並びに SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）議題「レジリエントな防災・減災機能の強化，地域連携による地域災害対応アプリケーション技術の研究開発，巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発」による助成のもとに行った．

### 参考文献

[1] 河川情報センター：川の防災情報，国土交通省（オンライン），入手先 ⟨http://www.river.go.jp/kawabou/ipTopGaikyo.do⟩（参照 2016-08-15）.
[2] 東京都下水道局：東京アメッシュ，（オンライン），入手先 ⟨http://tokyo-ame.jwa.or.jp/⟩（参照 2016-08-15）.
[3] 山田正，日比野忠史，中津川誠，藤沢充哲，森永博史：レーダ雨量計情報の動画像解析による降雨予測手法の提案と流域平均降雨量の推定法に関する研究，土木学会論文集，Vol. 1997, No. 558, pp. 13–30 (1997).
[4] 山口弘誠，金原知穂，中北英一：X バンド偏波レーダーを用いた雨滴粒径分布とその時空間構造及び降水量の推定手法の開発，土木学会論文集 B1 (水工学)， Vol. 68, No. 4, pp. I_367–I_372 (2012).
[5] 総務省統計局：統計局ホームページ/地域メッシュ統計，（オンライン），入手先 ⟨http://www.stat.go.jp/data/mesh/⟩（参照 2016-08-15）.
[6] The PostgreSQL Global Development Group: PostgreSQL: The world's most advanced open source database, (online), available from ⟨https://www.postgresql.org/⟩ (accessed 2016-08-15).
[7] Oracle Corporation: MySQL, (online), available from ⟨http://www.mysql.com/⟩ (accessed 2016-08-15).
[8] Hipp, D. R.: SQLite Home Page, (online), available from ⟨https://www.sqlite.org/⟩ (accessed 2016-08-15).
[9] Baumann, P., Furtado, P., Ritsch, R. and Widmann, N.: Geo/environmental and medical data management in the RasDaMan system, *VLDB*, pp. 25–29 (1997).
[10] Baumann, P., Dehmel, A., Furtado, P., Ritsch, R. and Widmann, N.: The multidimensional database system RasDaMan, *SIGMOD '98 Proceedings of the 1998 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, ACM, pp. 575–577 (1998).
[11] rasdaman GmbH: the rasdaman raster array database - rasdaman, (online), available from ⟨http://rasdaman.org/⟩ (accessed 2016-08-15).
[12] Stonebraker, M., Brown, P., Zhang, D. and Becla, J.: SciDB: A database management system for applications with complex analytics, *Computing in Science & Engineering*, Vol. 15, No. 3, pp. 54–62 (2013).
[13] Paradigm4: Paradigm4: Creators of SciDB a computational DBMS, (online), available from ⟨http://www.paradigm4.com/⟩ (accessed 2016-08-15).
[14] Baumann, P.: Large-scale array analytics: taming the data tsunami, *Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and knowledge management*, ACM, pp. 2599–2600 (2011).
[15] Choi, H., Lee, S.-H. and Park, D.-I.: Biologic data analysis platform based on the cloud, *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, Vol. 5, No. 3, pp. 199–206 (2013).
[16] 河川情報センター：河川情報数値データ配信事業について，（オンライン），入手先 ⟨http://www.river.or.jp/01suuchi/index.html⟩（参照 2016-08-15）.
[17] 気象業務支援センター：気象衛星観測データ，（オンライン），入手先 ⟨http://www.jmbsc.or.jp/hp/online/s-online0.html⟩（参照 2016-08-15）.
[18] Yahoo Japan Corporation: YOLP(地図):気象情報 API - Yahoo!デベロッパーネットワーク，（オンライン），入手先 ⟨http://developer.yahoo.co.jp/webapi/map/openlocalplatform/v1/weather.html⟩（参照 2016-08-15）.
[19] OpenStreetMap Foundation: Tiles - OpenStreetMap Wiki, (online), available from ⟨http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Tiles⟩ (accessed 2016-08-15).
[20] 北本朝展：デジタル台風：雨雲レーダー画像，国立情報学研究所 (NII)（オンライン），入手先 ⟨http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/radar/⟩（参照 2016-08-15）.
[21] 国土交通省国土地理院：地理院地図｜標高タイルの詳細仕様，国土交通省国土地理院（オンライン），入手先 ⟨http://maps.gsi.go.jp/development/demtile.html⟩（参照 2016-08-15）.
[22] 西岡芳晴，長津樹理：PNG 標高タイル: Web 利用に適した標高ファイルフォーマットの考案と実装，情報地質= Geoinformatics，Vol. 26, No. 4, pp. 155–163 (2015).
[23] Google Inc.: Google, (online), available from ⟨https://www.google.co.jp/⟩ (accessed 2016-08-15).

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan