

## クォータ変更に伴うストレージ使用量変化の分析

川谷, 卓哉  
九州大学大学院システム情報科学府

伊東, 栄典  
九州大学情報基盤研究開発センター

笠原, 義晃  
九州大学情報基盤研究開発センター

下園, 幸一  
鹿児島大学学術情報基盤センター

<https://hdl.handle.net/2324/1560622>

---

出版情報：インターネットと運用技術シンポジウム2015論文集, pp.6-13, 2015-11-26. Information Processing Society of Japan

バージョン：

権利関係：(C) 2015 Information Processing Society of Japan

# クォータ変更に伴うストレージ使用量変化の分析

川谷卓哉<sup>†</sup> 伊東栄典<sup>‡</sup> 笠原義晃<sup>‡</sup> 下園幸一<sup>\*</sup>

電子メールなどの情報システムは、組織活動を支える基盤となっている。組織向けの情報システムを運用する部門では、そのシステムの想定使用期間における使用資源量の見積もりが重要である。ストレージを適切に用意するためには、ストレージ使用量の傾向を把握する必要がある。電子メールを含む多くの情報システムで、利用者のストレージ使用量はロングテール型の分布になる。筆者らは、ストレージ容量に対する適切なクォータの設定について、ストレージ使用量の統計分布に基づく予測について研究している。以前の統計分析に基づき、筆者らが所属する九州大学の電子メールシステムのクォータを、冪分布近似に基づく推定による値に変更した。今回、クォータに変更による、各利用者のストレージ使用量の分布の変化と、システム全体でのストレージ使用量増加の傾向の変化を報告する。また、筆者らが提案した統計分析による予測が適切かどうかを検証する。

## An analysis of disk usage before and after quota change

Takuya Kawatani<sup>†</sup> Eisuke Ito<sup>‡</sup> Yoshiaki Kasahara<sup>‡</sup>  
Koichi Shimozono<sup>\*</sup>

Information systems such as email service are fundamental infrastructure to support organization activity. For the department maintaining intra-institutional information systems, it is important to estimate system resource consumption throughout the lifetime of each system. For example, to prepare a storage system with appropriate capacity, it is necessary to grasp the long-term trend of storage consumption by users. Users' storage usage pattern tends to exhibit a long-tailed distribution in many information systems. We proposed an optimal quota value estimation based on approximated storage usage distribution by power-law distribution. Based on the estimation, we changed quota of the email system in Kyushu University. In this research, we evaluate the effect of increasing quota, and analyzed the change of users' storage usage distribution and usage trend of entire system. We also validate that our estimation method of quota and total storage consumption using power-law distribution is suitable for real email system.

### 1. はじめに

電子メールなどの情報システムは、社会において組織・団体が活動する基盤として重要である。情報システムを導入・管理する部門では、システム構築する際に各種の仕様を適切に見積もる必要がある。例えば、組織構成員向けの電子メールサービスを構築する際には、メールを保持するストレージの容量や、ネットワーク帯域、稼働時間などの仕様を適切に設定しなければならない。

我々は大学内に向けてメールシステムを構築し、運用してきた。利用者にとって、メールの保存容量は可能な限り大きい方が望ましい。特に、IMAPで複数端末からメール利用する場合や、Webメールで利用する場合、サーバ側でメールデータを保存することになるため、より大きな容量が必要となる。一方、システム管理者にとって、過大なストレージは導入費や保守費、そして将来の更新時の移行作業コストを考えると望ましくない。

オンプレミス型のメールシステムの場合、主に導入費用で全体のストレージ容量が決まることが多い。ストレージ

容量が大きい場合、ストレージの全容量を利用者数で均等割りした値を、各利用者が使用可能な容量の上限値(クォータ)にすることも多い。しかしながら、実際のメールシステムでは、全員が等しい量を使用するわけではない。電子メールを含む多くの情報システムで、利用者のストレージ使用量はロングテール型の分布になることが知られている[1]。

我々は、メールの保存容量のような、システム全体が必要とする資源量と、利用者の満足度を大きくする利用者への割当量とを、何らかの統計モデルで予測することを目指している。我々が調査した範囲では、このようなストレージの使用量を統計モデルで表現し、それにより容量の効率化を目指すような先行研究は得られていない。そこで、我々が運用している大学向けメールシステムおよびファイル共有システムにおける利用者のストレージ使用量の分布を分析した[2,3]。その結果、ごく少数の利用者が大きな容量を使用する一方、大多数の利用者は少量しか使わないことが判明した。また、全利用者のストレージ使用量は対数正規分布に近い分布になることがわかった。更に、各利用者の使用量とクォータの関係を冪分布近似に基づき推定した。その結果、大幅にクォータを上げても全体のストレージ使用量は増大しないと予測できたため、現行のメールシステムにおけるクォータを増加することにした。

<sup>†</sup> 九州大学大学院 システム情報科学府  
Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University.  
<sup>‡</sup> 九州大学 情報基盤研究開発センター  
Research Institute for Information Technology, Kyushu University.  
<sup>\*</sup> 鹿児島大学 学術情報基盤センター  
Computing and Communications Center, Kagoshima University.

本研究では、九州大学の電子メールシステムを対象に、クォータを変更した前後における、ストレージ使用量の変化を分析した。クォータ変更による、システム全体でのストレージ使用量の変化と、各利用者のストレージ使用量分布の変化を分析した。また我々が考えた方法の妥当性も検証した。

本論文の構成を述べる。第2章では、研究対象としている九州大学のメールシステムについて紹介する。第3章では、冪分布近似によるクォータとストレージ総使用量との関係を示す。第4章では、クォータを変更した前後の、ストレージ使用量の変化を述べる。第5章では、冪分布近似の妥当性について考察する。最後に、第6章でまとめと今後の展望を述べる。

## 2. 対象システム

本研究で分析対象にしたシステムは、九州大学で運用している電子メールシステムである。多くの大学と同様に、九州大学でも学生・職員へメールサービスを提供している

[4,5,6,7]. 先に発表した文献[2]と[3]では、2009年～2013年度の間に運用した旧メールシステムについて分析した。本論文では、2014年3月に更新導入されたメールシステムを分析対象とする。現在のメールシステムの全体構成を図1に示す。ハイパバイザを入れた物理サーバ群を用意し、その上でメールサーバ等が仮想マシンとして動作する構成である。図2に職員用メール、図3に学生用メールの構成図を示す。職員用と学生用は、同じソフトウェアで構成している。

学生用メールシステムは、学生が利用する。学生は、学部学生および大学院生の正課生。研究生や科目等履修生などとして在籍している非正課生からなる。また、職員用メールシステムは、教職員の他、特別研究員や、外部組織で雇用されている派遣社員、訪問研究者などが利用する。九州大学における2014年12月現在の利用者ID概数を表1に示す。IDを発行されている者がメールを利用できる。

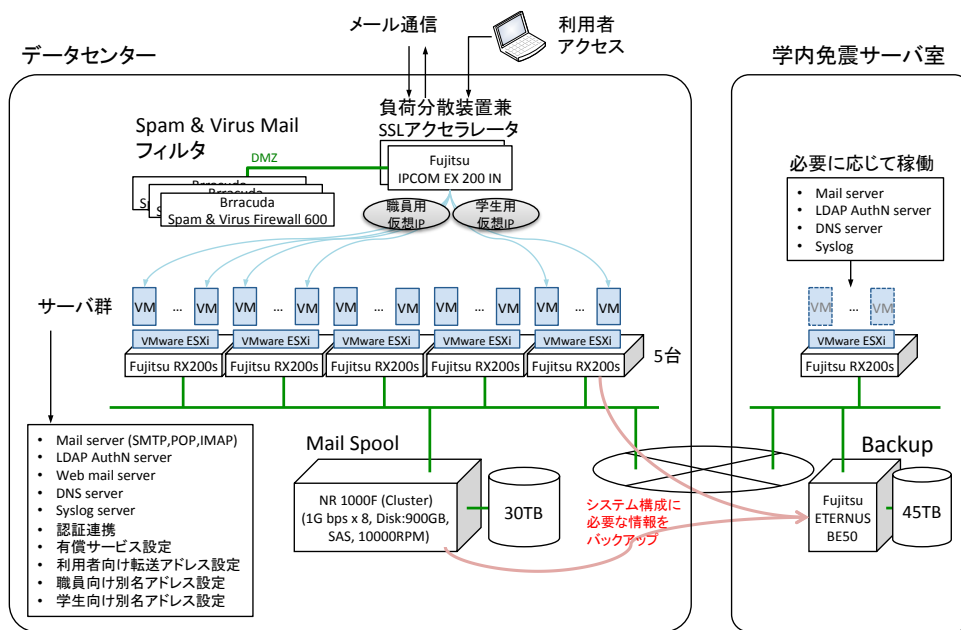


図1 九州大学全学基本メールシステム構成

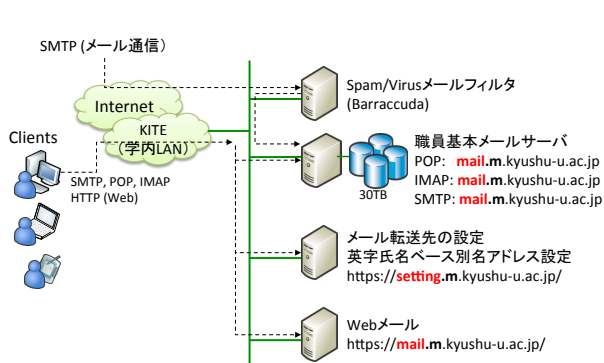


図2 九州大学職員基本メール構成図

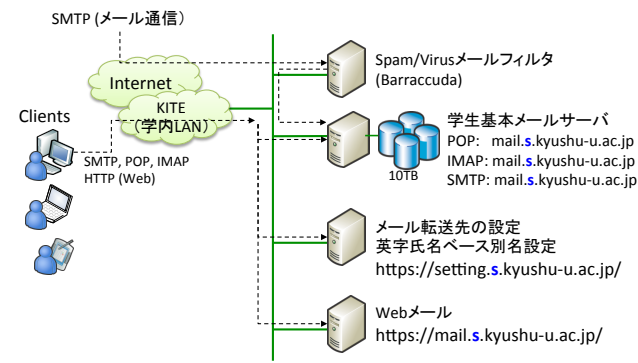


図3 九州大学学生基本メール構成図

表 1 九州大学の利用者 ID 数 (2014 年 12 月現在)

種類	ID 総数(概数)
正課生	19,000
非正課生	500
職員	9,000
派遣等	800
合計	29,300

職員用メールおよび学生用メールシステムの、ストレージ総容量、クォータ、送受信メール上限値を表 2 九州大学職員用メールと表 3 に示す。現在のメールシステムにおいて、学生向けと職員向けで異なるのは送受信メールの上限値だけである。なお、クォータはハードリミットで設定している。

表 2 九州大学職員用メール

日付	旧システム		現システム
	2011.2	2014.4	2015.3
総容量	2.6TB	10TB	
クォータ	300MB	1GB	4GB
送受信 上限	20MB/1 通		20MB/1 通

表 3 九州大学学生用メール

日付	旧システム		現システム
	2011.2	2014.4	2015.3
総容量	3.6TB	10TB	
クォータ	300MB	1GB	4GB
送受信 上限			10MB/1 通

なお、職員は有償サービスを契約することで、メールの保存容量を 40 GB に増やすことができる。ただし、本論文の分析では有償サービス契約者を外している。本研究では、利用者全てに単一のクォータが設定されている環境における、各利用者のストレージ使用量や全体の総使用量を調査分析している。そのため分布の例外である有償サービス利用者のデータは除外した。

### 3. ストレージ使用量の冪分布近似による最適クォータ推定

ここでは、我々が文献[1]および[2]で提案している、ストレージ使用量の冪分布近似における最適クォータ推定について説明する。

### 3.1 ストレージ使用量の分布

以降で用いる記号を以下に示す。

- $u_i$  : 利用者  $i$  のストレージ使用量,
- $U$  : 総使用量 ( $U = \sum u_i$ ),
- $q$  : クォータ,  $\forall i, u_i < q$ .

利用者の使用量  $u_i$  の分布を調べる。図 4 左側は横軸に使用量  $u_i$  を、縦軸に容量が  $u_i$  の利用者数をプロットしたものである。右側は左図を読み替え、横軸に使用量の順位 (1 位が一番多い使用量)、縦軸にその順位の利用者の使用量  $u_i$  をプロットした図である。図 4 の右図は、そのままと縦軸横軸に直角に接する図になるため、見やすさのために両軸を対数尺度にしている。使用量  $u_i$  が対数正規分布の場合、図 4 右図は両対数尺度で右下がりの曲線になる。

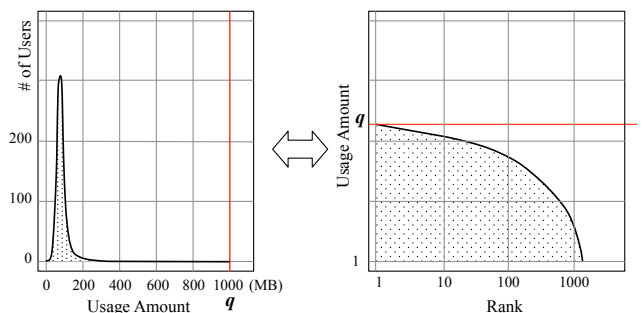


図 4 ストレージ使用量の分布 (対数正規分布)

対数正規分布の上位部分は冪分布に近いことが知られている[1,9]。対数正規分布である利用者のストレージ使用量分布 (図 5 左図の曲線 L) を、冪分布 (図 5 左図の直線 P) で近似する。冪分布は

$$f(x) = qx^a,$$

で表される。ここで  $a$  はスケーリング指数 (scaling exponent) と呼ばれる。この分布を両対数尺度でプロットすると、

$$y = qx^a,$$

$$\log y = a \log x + \log q,$$

$$Y = \log y, X = \log x, Q = \log q \text{ とすると}$$

$$Y = aX + Q,$$

となる。両対数尺度の場合、切片が  $Q$  で傾きが  $a$  の直線になる。

図 5 右図のように、ある時点における、利用者の使用量分布に最も近い冪分布が  $f(x) = qx^a$  であるとする。このとき、ストレージの総使用量  $U$  は、

$$U = \sum f(x) = q \sum x^a, (x = 1 \dots n), \quad (1)$$

である。ここで  $n$  は利用者数である。

図 5 左図のように、クォータを  $q_1$  から  $q_2$  に変化した際のストレージ総使用量を予測する。クォータを変更しても、使用量分布を冪分布で近似する際のスケーリング指数  $a$  が変化しないと仮定する。クォータ変更後のストレージ

総使用量は、式 (1) で算出される値になる。これは図 5 右図の直線  $P_2$  の以下の面積である。

式を (1) を変形すると、ストレージの総使用量を  $S$  にするには、クォータ  $q$  を以下の式(2)で導出される値にすれば良いことになる。

$$q = \frac{S}{\sum x^a}, (x = 1 \dots n). \quad (2)$$

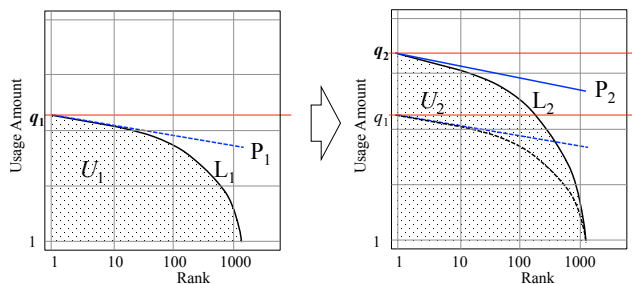


図 5 冪分布近似と、クォータ変更時の総使用量予測

なお、対数正規分布で想定する使用量分布(図 5 の曲線  $L$ ) より、冪分布の使用量分布(図 5 の直線  $P$ ) を高く設定する。これにより、冪分布近似による予測値は、対数正規分布での総使用量より大きくなるため、容量不足は発生しない。

### 3.2 クォータの変更

上記の 3.1 節で述べた方法を用い、2014 年 2 月まで運用していた旧職員用メールシステムにおける、利用者のストレージ使用量を分析した[2,3]。使用量を冪分布で近似したところ、スケーリング指数は  $a = -0.4$  であった。この値を用いて、ストレージの総使用量を大きくするクォータを算出した。旧職員用メールシステムについては、クォータを 8.1 GB にすると、ストレージの総使用量は 2TB になると予測できた。

この結果に基づき、現在の職員用メールシステムのクォータを、2015 年 3 月 25 日 1 GB から 4GB に引き上げることとした。職員用の現メールシステムのストレージ容量は 10TB あり、旧システムより大きい。予測ではクォータを 8GB にすると、全体でストレージを 2TB 使用すると予測している。しかし、我々はクォータを 8GB ではなく、抑えた 4GB を設定した。

クォータの増加量を抑えた理由は三つある。一つ目は、運用システムでのトラブル発生を避けるためである。クォータの急激な引き上げによって容量不足などのトラブルが発生することを恐れた。二つ目は、長期間における変化を予測できないためである。先の推定では、将来も使用量分布の傾向が変化しない(冪分布のスケーリング指数が変化しない)と仮定している。実際はクォータの変更により、使用量の分布が変化する可能性もある。三つ目は、

クォータの引き下げが困難なためである。クォータを引き上げによりストレージ不足が発生すると、一度上げたクォータを下げなければならない。クォータの引き下げは利用者の満足度を大きく下げたため、利用者から多くの不満が出ることを恐れた。

## 4. クォータ変更前後のストレージ使用量

### 4.1 分析に用いたログ

メールシステムが毎日出力するログから、ストレージ使用量部分を抽出し、そのデータを分析した。分析に用いたログは、2014 年 12 月 5 日から 2015 年 8 月 20 日の間に出力されたものである。2015 年 3 月 25 日にクォータを 1 GB から 4 GB に変更したため、その前後の状況を分析するため、この期間とした。

ログは学生用サーバと職員用サーバで別に出力される。職員用メールについては、ログから有償利用者のデータ除き、一般利用者のみ限定して集計した。

### 4.2 実利用者数とストレージ総使用量

毎月 10 日時点での、登録アカウント数、実利用者数、ストレージ総使用量を表 4 と表 5 に示す。表 4 が職員用メール、表 5 が学生用メールである。

表 4 職員用メール利用状況

日付	アカウント数	実利用者数	総使用量
2014 年 12 月	9,359	8,011	402.16 GB
2015 年 1 月	9,355	8,072	414.96 GB
2015 年 2 月	9,293	8,003	451.09 GB
2015 年 3 月	9,307	7,985	464.36 GB
2015 年 4 月	10,128	8,154	506.69 GB
2015 年 5 月	10,210	8,204	548.50 GB
2015 年 6 月	10,258	8,935	617.93 GB
2015 年 7 月	10,293	9,014	681.94 GB
2015 年 8 月	9,370	8,195	703.21 GB

表 5 学生用メール利用状況

日付	アカウント数	実利用者数	総使用量
2014 年 12 月	20,147	18,402	449.98 GB
2015 年 1 月	19,913	18,186	468.72 GB
2015 年 2 月	19,644	17,994	496.43 GB
2015 年 3 月	19,651	18,007	529.43 GB
2015 年 4 月	23,435	21,686	563.84 GB
2015 年 5 月	23,411	21,670	589.00 GB
2015 年 6 月	23,444	21,749	630.36 GB
2015 年 7 月	23,234	21,599	669.25 GB
2015 年 8 月	19,640	18,420	582.52 GB

表 4 および表 5 の実利用者は、メールシステムにメールアドレスを保存しているアカウントである。本研究ではメールを保存する利用者を対象とするため、外部へ転送している利用者や、着任直後の利用者を除外する。そこで、メッセージを 2 通以上保持しているアカウントを、実利用者とした。1 通以上にしない理由は、アカウント作成時に案内メールが自動で 1 通送付される仕組みがあるためである。

なお、4 月から 7 月までの値が増加しているのは、卒業・退職等で非在籍となった利用者のアカウントが残るためである。メールの移行作業のため、非在籍者になってから 100 日間アカウントが残る仕組みが組み込まれている。

### 4.3 ストレージ使用量の変化

2014 年 12 月 5 日から 2015 年 8 月 20 日までの、ストレージ使用量グラフを図 6～15 に示す。図 6～10 は職員用メールの、図 11～15 は学生用メールのストレージ使用量である。

#### 4.3.1 職員用メールのストレージ使用量

図 6 に職員用メールでの、ストレージの総使用量を示す。2015 年 3 月 25 日のクォータの変更日から、総使用量の増加度が高くなっている。一日当たりの平均増加量は、3 月までは 1 日あたり約 700MB の増加であったが、4 月以降は 1 日あたり 2GB に増えた。

次に、使用量が上位の利用者だけに限定した場合も分析した。上位 5% (約 400 人) の使用量は、総使用量の約 80% である。上位の使用量動向は、ストレージの総使用量の変化に関係が深い。

図 7 に上位 10 人の、図 8 に上位 50 人、図 9 に上位 100 人、図 10 に上位 500 人の使用量の合計をプロットしたグラフを示す。図 7～10 では、クォータ変更以前は、1GB×人数の値で推移している。上位 100 人は全員、メールの保存量がクォータの 1GB であることが分かる。クォータが 1GB から 4GB への変更後、制限が無いためストレージ使用量が線形に増加している。

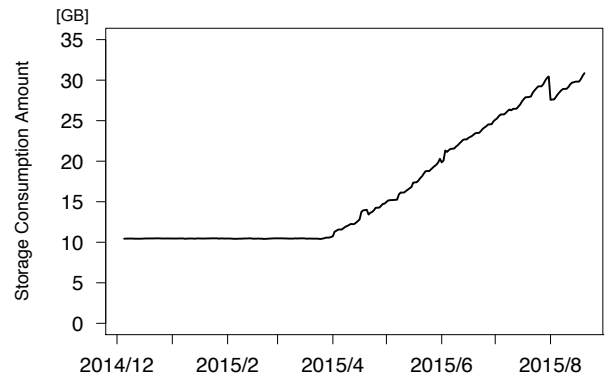


図 7 職員用メール・上位 10 人のストレージ使用量

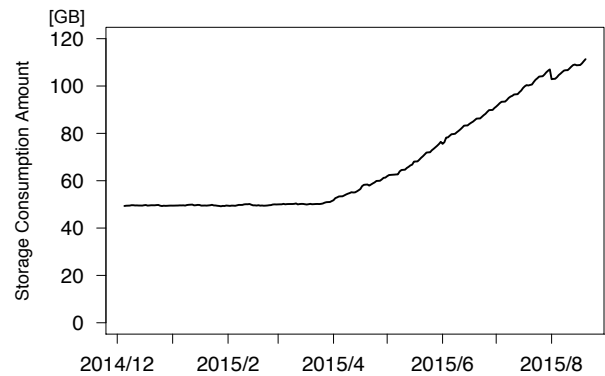


図 8 職員用メール・上位 50 人のストレージ使用量

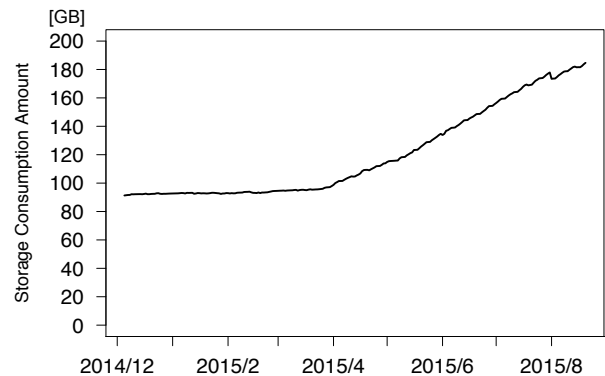


図 9 職員用メール・上位 100 人のストレージ使用量

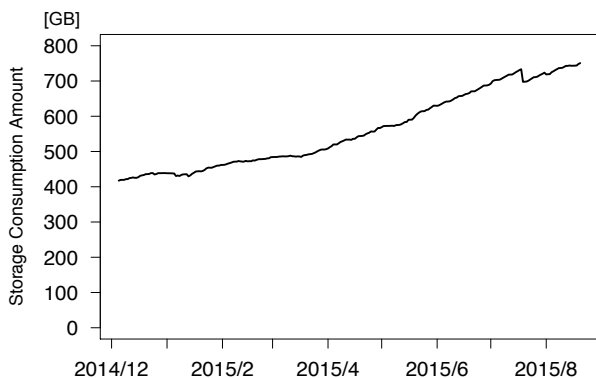


図 6 職員用メール・総使用量

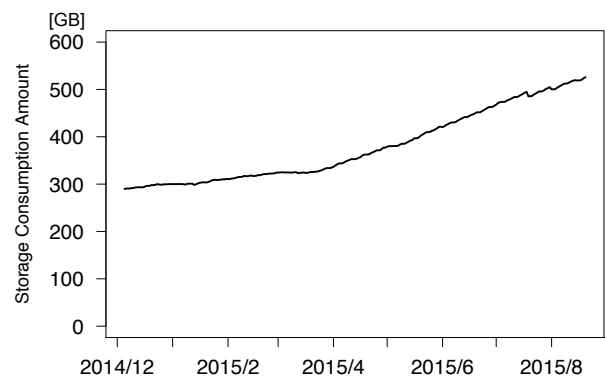


図 10 職員用メール・上位 500 人のストレージ使用量

図 10 の上位 500 名の状況を見ると、クォータ変更前でも総使用量が緩やかに増加していることがわかる。上位 500 名まで見ると、上限に達していない利用者が多い。

#### 4.3.2 学生用メールのストレージ使用量

同様の分析を学生用メールでも行った。図 11 にストレージの総使用量を示す。職員用と異なり、学生用メールではクォータ変更前後で総使用量の増加度に変化が無い。クォータ変更直前の 3 月 25 日において、新規メール受信が不可能となるクォータに使用量が達していたアカウントは 2 つだけであった。そのため、使用量の変動が見られない。

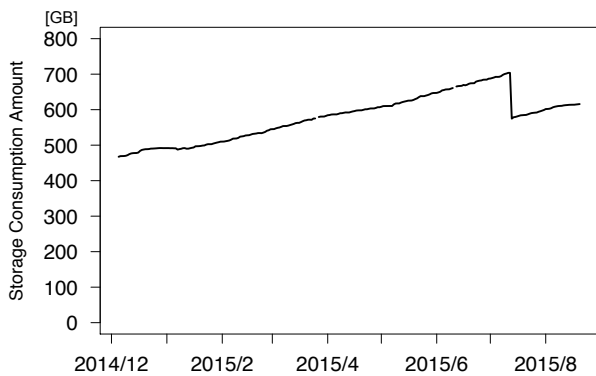


図 11 学生用メール・総使用量

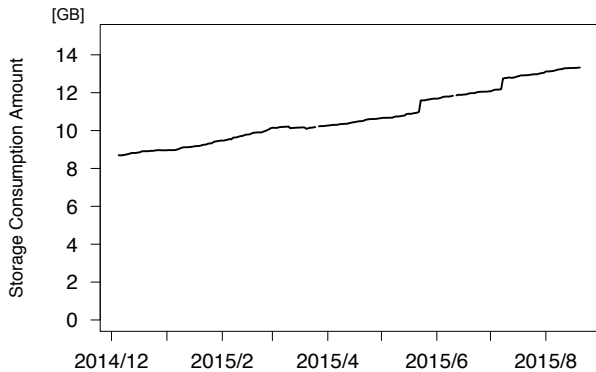


図 12 学生用メール・上位 10 人のストレージ使用量

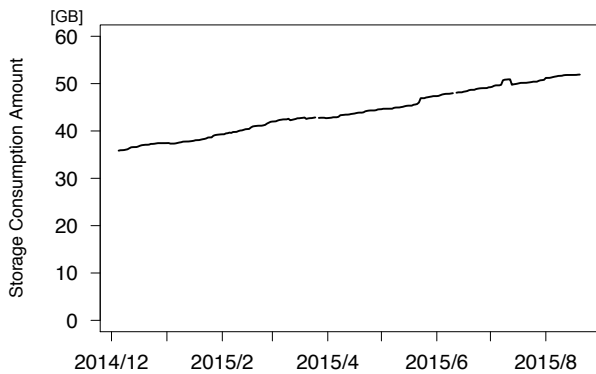


図 13 学生用メール・上位 50 人のストレージ使用量

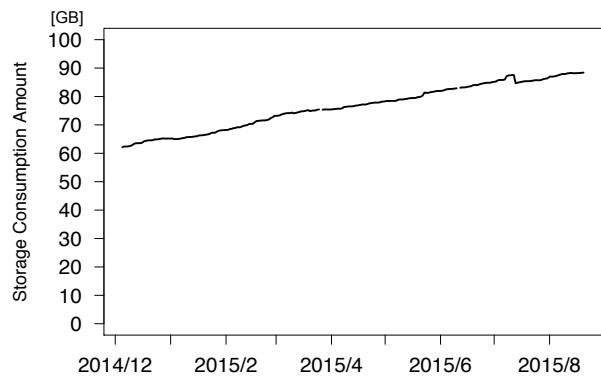


図 14 学生用メール・上位 100 人のストレージ使用量

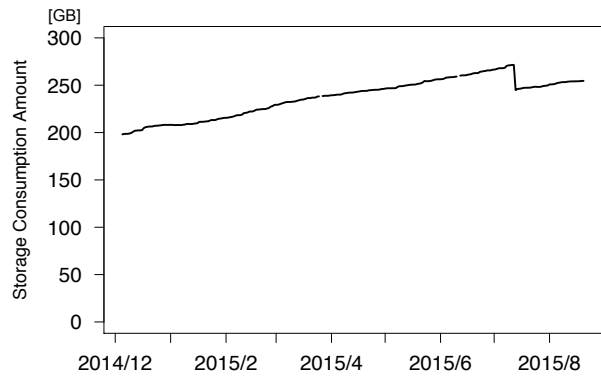


図 15 学生用メール・上位 500 人のストレージ使用量

図 12 のグラフ上でクォータ変更前の 3 月上旬に平らになったように見えているのは、上位 10 人を構成する複数の利用者アカウントにおいて、この時期にメール消去が行われていたためであった。

### 5. 冪分布近似の妥当性

クォータ変更に伴うストレージ使用量の変化を分析した。以下の二つを検証する。なお、以前の分析[2,3]は職員用メールに限ったものであるため、この節での分析も職員用メールに限定する。

#### 5.1 ストレージ総使用量予測の正しさ

文献[2]および[3]で提案した、冪分布近似によるストレージ総使用量予測の正しさを検証する。

式 (1) の冪分布のスケール指数  $a$  に旧システムのデータから算出した  $-0.4$  を、 $q$  に現システムのクォータを、 $n$  に実利用者数を代入する。計算結果を表 6 に示す。

表 6 を見ると、式 (1) による予測値は、クォータ変更前は実測値の総使用量より小さく、クォータ変更後は大きな値になっている。

クォータ変更前の値が大きすぎる理由は、利用者毎のストレージ使用量分布が、旧システムと新システムで変化したためであろう。後述する図 18 に示すように、2015

年 3 月 24 日時点の分布は、冪分布で近似するのに無理がある状況になっている。

クォータ変更後、総使用量の実測値は徐々に増加している。長期的には、クォータ変更前と同様に、式(1)の予測値を超えた値になる可能性もある。

表 6 職員用メール利用状況

日付	実利用者数	総使用量	式(1)の値
2014 年 12 月	8,154	506.69 GB	365.36 GB
2015 年 1 月	8,072	414.96 GB	367.03 GB
2015 年 2 月	8,003	451.09 GB	365.14 GB
2015 年 3 月	7,985	464.36 GB	364.65 GB
2015 年 4 月	8,154	506.69 GB	1477.11 GB
2015 年 5 月	8,204	548.50 GB	1482.56 GB
2015 年 6 月	8,935	617.93 GB	1560.70 GB
2015 年 7 月	9,014	681.94 GB	1568.99 GB
2015 年 8 月	8,195	703.21 GB	1481.58 GB

### 5.2 冪分布近似の妥当性

第 3 節で述べた方法では、利用者のストレージ使用量分布を冪分布で近似している。図 16 に、2013 年度末までの旧職員用メールシステムにおける利用者のストレージ使用量分布を示す。一般利用者は右下側である。クォータに達する利用者は少なく、一般利用者の上位は右下がりの直線で近似できる。

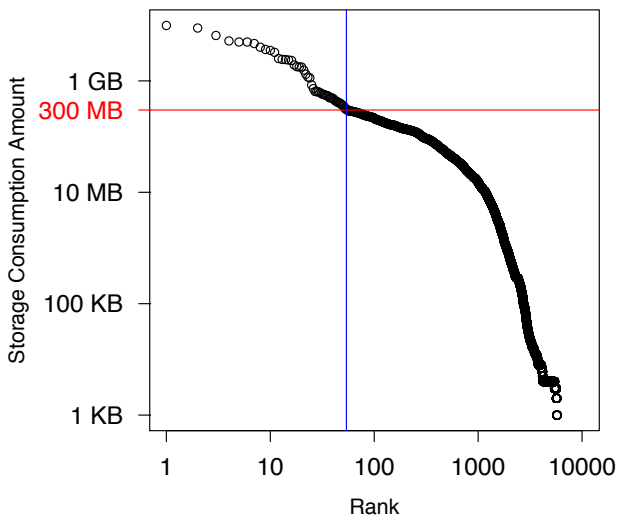


図 16 旧職員用メール: 順位-ストレージ量 (両対数)  
 (2014 年 1 月 27 日)

2014 年度からの運用開始した現在の職員用メールについて、図 17 と図 18 にストレージ使用量分布を示す。図 17 にクォータ変更直前である 2015 年 3 月 24 日時点のもので、図 18 はクォータ変更から約 4 ヶ月が経過した 2015 年 8 月 20 日時点のものである。なお、図 17 および図 18 の赤い曲

線は、R を用いた非線形回帰分析により得られた、対数正規分布の曲線である。

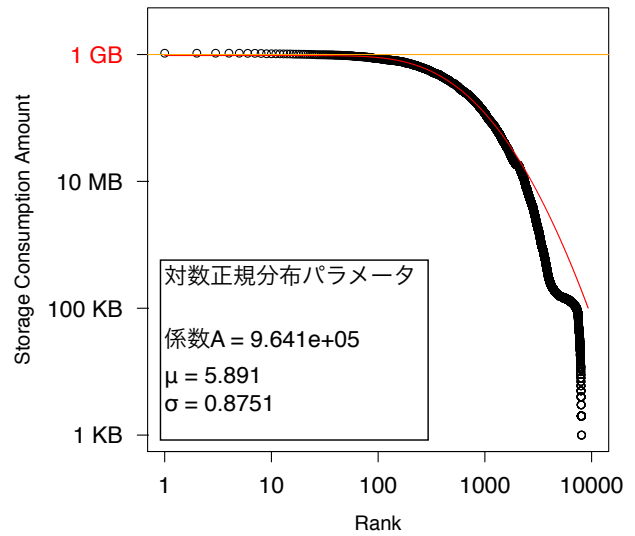


図 17 職員用メール: 順位-ストレージ量 (両対数)  
 クォータ変更前 (2015 年 3 月 24 日)

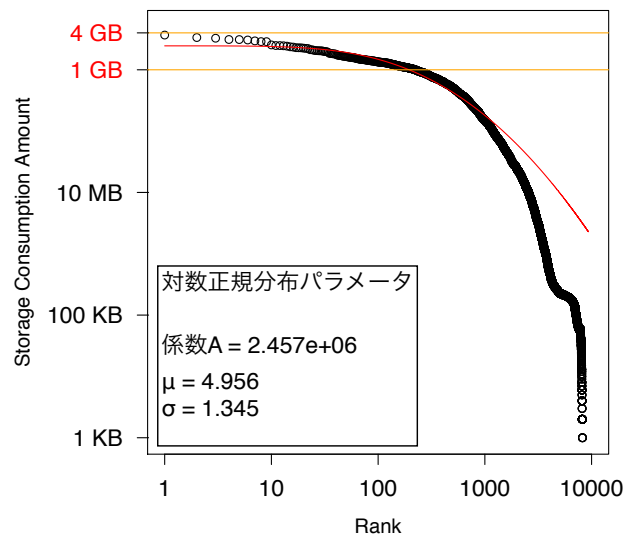


図 18 職員用メール: 順位-ストレージ量 (両対数)  
 クォータ変更後 (2015 年 8 月 20 日)

図 17 は、クォータを 1GB にしてサービスを開始してから 1 年経過した、2015 年 3 月 24 日時点の使用量分布である。図 17 を見ると、上位 100 人のストレージ使用量 (左側の縦軸に近い点) は、クォータである 1GB に近い。このため、全体を冪分布で近似するには無理がある。非線形回帰分析で得られる対数正規分布は、実際の分布に合致している。下位の部分 (グラフの右下側) は、ずれが大きいのに見えるが、図 17 は両対数尺度であるため、実際の差は大きくない。



図 18 は、クォータを 4GB に変更して 4 ヶ月が経過した 2015 年 8 月 20 日時点のストレージ使用量分布である。上位のストレージ使用量 (左側の縦軸に近い点) でも、クォータである 4GB を超えていない。また、図 18 を見ると、使用量が上位の部分 (グラフの左上側) は直線状の分布が見える。両対数尺度で直線になる分布は冪分布である。一方、非線形回帰分析で得られた対数正規分布は、上位側でもずれが大きい。

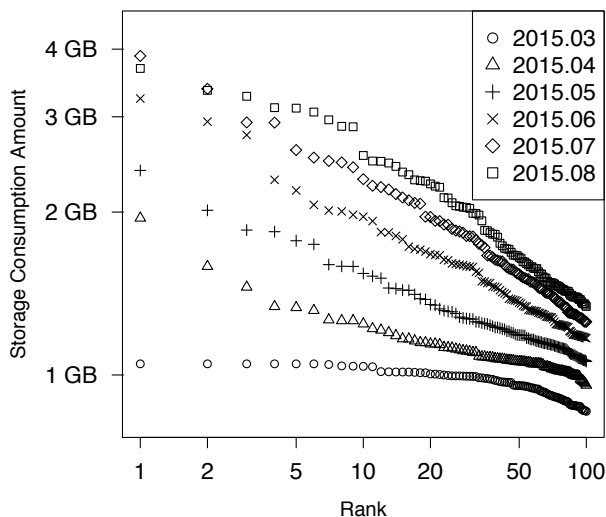


図 19 上位 100 人の使用量分布動向 (両対数)  
(2015 年 3 月～8 月)

図 19 は、2015 年 3 月から 8 月まで、毎月の上位 100 人のストレージ使用量分布を示したものである。図 19 を見ると、クォータ変更前の 3 月は、ストレージ使用量がクォータの 1 GB で頭打ちとなる分布であったが、クォータを変更した 4 月以降は、各利用者のストレージ使用量が増加している。また、使用量の増加度は、より上位であるほど大きい。ここで、4 月から 6 月の使用量分布に着目すると、各月の分布が両対数軸の上で直線状になっている。これは冪分布に近い分布であるといえる。同期間中は、すべての利用者のストレージ使用量が、新しいクォータの 4 GB に達していなかった。この状況を擬似的にクォータによる上限が無い状況ととらえると、上限が無いことによって冪分布に近い分布が見られた可能性がある。クォータによる上限が無い場合、利用者のストレージ使用量の分布がより対数正規分布に近くなるか、もしくは冪分布に近づくのか、今後も調査する予定である。

## 6. おわりに

本研究では、九州大学の職員用および学生用メールシステムにおいて、クォータを引き上げた前と後での、全体的なストレージ使用量の変化について調査を行った。その結果、職員用メールシステムでは、クォータを引き上げた後、全体のストレージ使用量の増加量が、1 日 700MB から 2 GB に大きくなった。一方、学生サーバにおいてはクォータ引き上げに関連するような増加量の変化は見られなかった。

各利用者のストレージ使用量分布についても、クォータ変更の前後を比較した。クォータの変更後、分布はより対数正規分布に近い形になった。このデータを用いて、先に提案していた冪分布近似による使用量予測や、クォータの設定についても検証した。その結果、使用量の分布は一定ではないことや、冪分布近似が適切でない場合も有ることが分かった。

今後は、職員用メールにおける増加量の変化の原因について、他の要因が存在するかどうかをより詳細に解析したい。また、適切なストレージ容量およびクォータを算出する手法を検討したい。また、他組織の情報システムについても同様の分析を行い、本研究で見出した事柄が普遍的に見られるかを調査したい。

## 参考文献

- 1) Yoshiaki Kasahara, Takuya Kawatani, Eisuke Ito, Koichi Simozono and Naomi Fujimura: Optimization of storage quota based on user's usage distribution, Proc of COMPSACW2015, IEEE, pp. 149-154 (2015).
- 2) 川谷卓哉, 伊東栄典, 笠原義晃, 藤村直美: 適切なクォータ設定のためのディスク使用量分析, 情処研報 Vol.2015-IOT-28, No.32, pp.1-7 (2014).
- 3) Michael Mitzenmacher: A Brief History of Generative Models for Power Law and Lognormal Distributions, Internet Mathematics Vol. 1, No. 2, pp.226-251 (2004).
- 4) 九州大学全学メールサービス, <http://www.m.kyushu-u.ac.jp/> (accessed at Aug. 28, 2015).
- 5) 藤村直美, 戸川忠嗣, 笠原義晃, 伊東栄典: 姓名をベースにしたアドレスによる学生基本メールの運用について, 情処研報 Vol.2011-IOT-14, No.10, pp.1-6 (2011).
- 6) Naomi Fujimura, Tadatsugu Togawa, Yoshiaki Kasahara, and Eisuke Ito: Introduction and Experience with the Primary Mail Service based on their Names for Students, Proc. of ACM SIGUCCS'12, pp.11-14 (2012).
- 7) Yoshiaki Kasahara, Eisuke Ito and Naomi Fujimura: Introduction of New Kyushu University Primary Mail Service for Staff Members and Students, Proc. of ACM SIGUCCS2014, pp.103-106 (2014).
- 8) The R Project for Statistical Computing, <http://www.r-project.org/> (accessed at Jan. 30, 2015).
- 9) 國仲寛人, 複雑系にひそむ規則性: 対数正規分布を軸にして, 日本物理学会誌, vol.66, no.9, pp.658-665 (2011).