データ保存のためのクラウド 同時利用方式の研究

Ueno, Shohei / 上野, 翔平

(出版者 / Publisher)
法政大学大学院理工学・工学研究科
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
(巻 / Volume)
58
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
8
(発行年 / Year)
2017-03-31
(URL)
https://doi.org/10.15002/00014208

データ保存のためのクラウド同時利用方式の研究

SELECTING CLOUD SERVICES APPROACH FOR DATA STORAGE USING SECRET SHARING SCHEME

上野翔平
Shohei UENO
指導教員　金井敦

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

Cloud services have become more popular because of their decreasing cost. However, it is difficult to select the optimal cloud service because there a many services whose service levels are different. We evaluate our proposed method for dynamically selecting the optimal cloud services to store data. Additionally, we evaluate using some actual cloud services and the results indicate it is possible to select an optimal combination of cloud services.

***Key Words** : cloud computing, multi-cloud,secret sharing scheme,availability,confidentiality,*

１．はじめに

インターネットが広く大衆に浸透した昨今では，インターネットをインフラの一部として捉え，ユーザには複雑な内部の情報を意識させずに利用させるサービスが増えている．

このようなサービス形態をクラウドコンピューティングと呼び，最近では広く一般的に利用されるようになってきている[1]．クラウドコンピューティングの形態を取るサービスには，パブリッククラウドやプライベートクラウドといった種類があるが，これらを組み合わせて使用するマルチクラウドと呼ばれる手法も研究されている[2][3][4]．マルチクラウドでは，複数のクラウドサービスを組み合わせることによるユーザに更なるサービスを提供することを目的としている．

しかし，同様のサービスも多数存在している中，ユーザはこれらの違いから自分の要求に見合う特徴を持ったサービスを選択して利用することになる．しかし，技術に疎いユーザにとってはそれらの違いを把握すること自体が困難であり，技術に詳しいユーザにとっても爆発的に増加したクラウドサービスのすべてに対してそれぞれの特徴を調べて比較することは大きな労力を要する作業である．

本稿では，このようなユーザの労力を取り除き，クラウドサービスの利便性やセキュリティを向上させることを目的とした最適クラウド決定手法を提案し，その有用性を示す．本研究では，特にクラウドストレージサービスに焦点を当て，複数のサービスを併用する場合を想定して，各々のストレージサービスの特徴から，最適な利用形態を自動的に決定する方法を考える．

本稿の流れは以下の通りである．2 章で提案する手法や利用する技術について説明する．3 章では実際のクラウドサービスを用いて本手法の有用性について評価を行い，最後に 4 章で結論と今後の課題について述べる．

２．提案手法

（１）想定する環境

本提案手法は，多数のクラウドストレージサービスが存在するマルチクラウド環境を想定する．また，各クラウドサービスは SLA を公開していることが前提となる．加えて，その中には本手法で利用する評価項目のすべてが記載されていなければならない．更に，クラウドストレージのセキュリティにのみ着目するために，それ以外の要素に基づくセキュリティは確保されているものと考える．そのため，ユーザ自身の端末がコンピュータウィルスに感染している，クラウドまでの通信路が盗聴されているといった状況は無いものとして考える．

ユーザは，上述の条件を満たすクラウドサービスと契約済みであり，利用可能な状態であるものとする．また，すべてのストレージサービスは定額課金制であることを前提としている．以下に本提案手法の利用モデルを図 1 アップロード時の利用モデル及び図 2　ダウンロード時の利用モデルに示す．

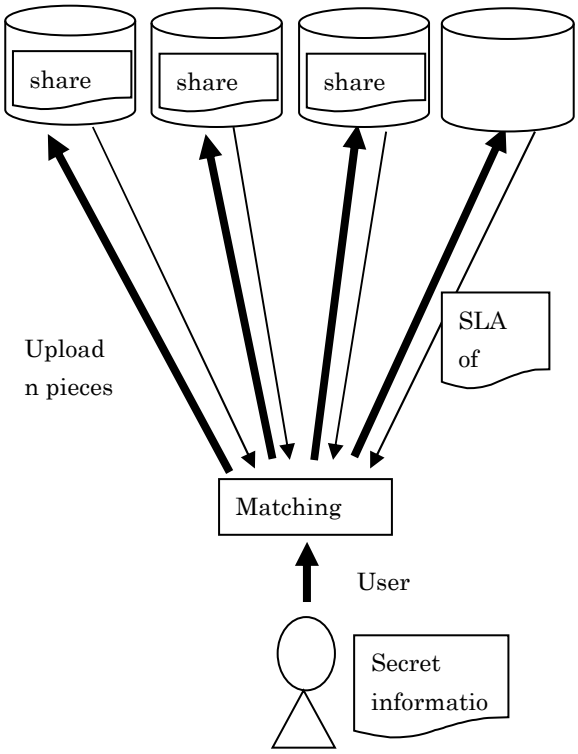

図 1　アップロード時の利用モデル

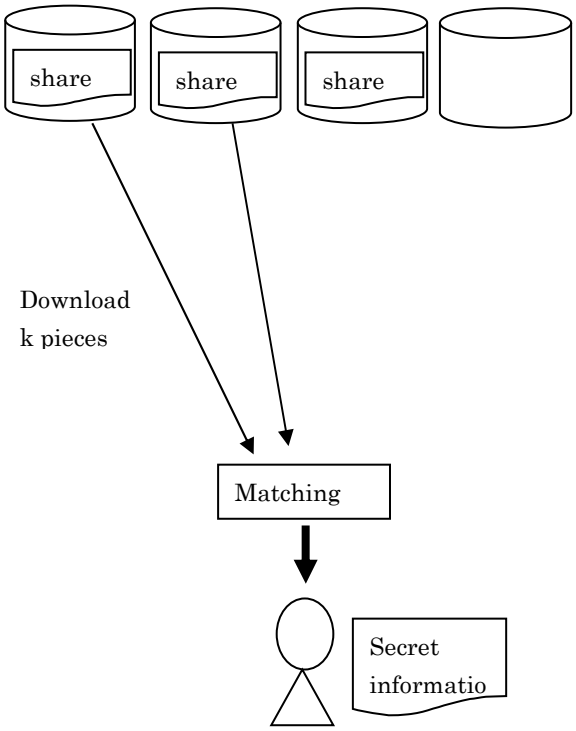

図 2　ダウンロード時の利用モデル

本提案手法のモデルでは利用するユーザ，ユーザの利用目的に応じて最適なクラウドサービスの組み合わせを決定し秘密分散を行うマッチング部，実際にデータを保存するクラウド群の３つに分けられる．まず，ユーザはクラウドストレージ上に保存したい秘密情報と，利用ポリシーをマッチング部に送信する．ここで，利用ポリシーとはユーザがどのようにクラウドサービスを利用したいかを示した要求のことである．次に，各サービスから SLA をもらい，それに記載された項目に基づいて評価を行う．この SLA の中に記述された項目に基づいてユーザのデータを保存するクラウドサービスの組み合わせを決定する．ここで，各クラウドサービスが公開する SLA の内容は機械処理が可能な状態で提供される必要がある．本提案手法では，最適なクラウドサービスの決定を自動的に行うため，機械が翻訳可能な形式でなければならない．先行研究ではこのために XML 形式で SLA を記述する方式を提案しており，本提案手法においてもそれを前提とする．その後，決定されたクラウドサービスの数に応じて(k, L, n)しきい値秘密分散法を用いて秘密情報から分散情報を生成する．生成された分散情報を決定されたクラウドサービスに各々アップロードする．

アップロードされた分散情報は各クラウドサービスの管理下で保存される．秘密情報を復号するには，保存されている全ての分散情報の内，アップロード時に利用した(k, L, n)しきい値秘密分散法に従い，しきい値個以上の分散情報をダウンロードすることができれば良い．

データを保存する際には，(k，L，n)しきい値秘密分散法を利用してデータを分散させる．次節では(k，L，n)しきい値秘密分散法をどのように適用するかについて述べる．

（２）(k, L, n)しきい値秘密分散法

(k，L，n)秘密分散法は山本によって考案され[5]，A.Shamir による(k, n)しきい値秘密分散法[6]を拡張した方式である．この方式は(k，n)秘密分散法と比較して各分散情報のデータ長を減少させることができるという特徴を持つ．

ある秘密情報 x に対して(k, L, n)しきい値秘密分散法を適用すると，n 個の分散情報が生成され，そのうち k 個を集めることで秘密情報の復号が可能になる．ここで，各分散情報のデータサイズは秘密情報の 1/L 倍となっている．このとき，k-L 個より多くかつ k 個未満の分散情報からは，秘密情報の一部を特定可能であり，それ以下の個数では情報理論的に安全であり，秘密情報に関する情報を一切得ることができない．

本手法では，この(k，L，n)しきい値秘密分散法をクラウドサービスに保存するデータを生成する際に利用する．ユーザがクラウドサービスに預けたいデータを秘密情報として(k，L，n)しきい値秘密分散法を適用する．生成された n 個の分散情報を，n 個の別々のクラウドサービスに保存しておき，元のデータが必要になった場合にはその

うちの k 個のサービスに接続し，分散情報を得ることで秘密情報が復元可能となる．各クラウドサービスで保管されるデータのサイズは元のデータの 1/L 倍である．

ここで，分散情報の保存先の数である n の最大値はユーザの契約しているクラウドサービスの数となる．

（3）ユーザの要求とクラウドサービスとのマッチング

ユーザのクラウドサービスに対する要求は様々である．機密性は低いものの頻繁にアップロードやダウンロードを繰り返す場合や機密性が高く滅多にアップロードを行わない場合も存在する．加えて，ログファイルのようなデータの書き込みが頻繁に行われ，読み出しは滅多に行われないようなデータや，取扱説明書のような，一度完成してしまったらその後は読み出ししか行わないようなデータなど，利用形態が非対称的である可能性も存在する．このような非対称的な要求に対応するために本研究ではマルチクラウド利用を以下の 3 つの状態に分けて定義する．以下にそれぞれの定義を示す．

1) アップロード時…ユーザがクラウドサービスにデータを預ける際，秘密分散法を利用した分散情報の生成を行い，分散情報を転送し終わるまで．

2) データ保管時…マルチクラウド環境に分散情報が転送され保存されている状態．

3) ダウンロード時…元データの復元に必要な分散情報を転送し，秘密分散法によって復元されユーザの手元に元のデータが得られるまで．

上述の 3 状態においてマルチクラウド環境を評価し，最適なクラウドサービスの組み合わせを決定する際の前段階として個々のクラウドサービスの評価に用いる項目は以下の 4 つの項目であり，それぞれ独立した値として SLA に記述されるものである．

1) 稼働率…一年を通して利用可能な時間の割合[%]

2) 漏洩確率…第三者およびプロバイダへ漏洩する確率[%]

3) コスト…預けるデータ 1GB ごとに必要な料金[円/GB・月]

4) 通信速度…1 秒あたりに転送が完了する容量[GB/秒]

また，ユーザ要求項目として，マルチクラウド環境を利用するに辺り要求する性質についてユーザの視点から以下の 4 つの項目を定義する．

1) 稼働率 …マルチクラウド全体の稼働率[%]

2) 危険度…預けたデータの危険度[%]

3) 総コスト…利用したクラウドサービスのコストの合計[円]

4) 転送時間…クラウドサービスとの通信時間[秒/GB]

ユーザの要求項目と SLA に記載されているクラウドの性質が 1 対 1 で対応していることがわかる．その対応は以下の表 1 ユーザの要求項目と SLA の関係の通りになる．また，マルチクラウド環境の評価を行うためには上述の(k，L，n)しきい値秘密分散法のパラメータおよび，マルチクラウド環境を構成する個々のクラウドサービスの性質がどのようになっているかを知る必要がある．秘密分散法のパラメータである k，L，n がそれぞれ増加した際にユーザ要求項目の関係がどのように変化するかを示したものが以下の表 2 ユーザの要求項目と秘密分散法の関係となる．

表 1 ユーザの要求項目と SLA の関係

SLA 項目	ユーザ要求
稼働率	可用性
コスト	コスト
通信速度	転送時間
漏洩確率	危険度合い

表 2 ユーザの要求項目と秘密分散法の関係

	アップロード時			保管時	ダウンロード時	
	稼働率	コスト	転送時間	機密性	稼働率	転送時間
k	-	-	-	良化	悪化	悪化
L	-	良化	良化	悪化	-	良化
n	悪化	悪化	悪化	悪化	良化	-

a）3 状態におけるユーザ要求の定式化

1．アップロード時

アップロード時の評価項目は稼働率，コスト，転送時間の 3 つの指標が関係する．それぞれの式は以下のとおり定式化できる．

a．稼働率

可用性を表す指標であるマルチクラウド全体としての稼働率は，アップロード先である選択された n 個のクラウドサービスがすべて稼働している確率となる．そのため，以下の式(1)の形で定義することが出来る．

$$\text{稼働率} = \prod_{i \in n} \text{クラウドサービス} i \text{の稼働率} \quad (1)$$

b．コスト

次に，選択されたクラウドサービス全体としてのコストを示す式を定義する．この指標は本研究では定額料金を想定しているため，選択されたクラウドサービスのコストの合計となる．そのため，以下の式(2)の形で定義することが出来る．

$$全体のコスト = \sum_{i \in n} クラウドiのコスト \quad (2)$$

c. 転送時間

次に，パフォーマンスの指標を表す転送時間の式を示す．転送時間は各クラウドサービスへのデータのアップロードが終了するまでの時間となる．そのため，以下の式(3)の形で定義することが出来る．

$$全体の転送時間 = \frac{1}{L} \sum_{i \in n} \frac{1}{クラウドiの通信速度} \quad (3)$$

2. データ保管時

保管時の評価項目は機密性の指標である危険度合いのひとつのみである．危険度合いは，x 個漏洩する確率とそのときに元のデータが特定される度合いの乗算によって得られるリスクの値の総合計となる．よって，危険度合いは以下の式(4)の形で定義することが出来る．

$$機密性 = \sum_{x=k}^{n} \left(\sum_{i \in \{y | y \in P(n),\ |y| = x\}} \prod LP(i) \prod_{j \in n-y} \{1 - LP(j)\} \right) * x個漏洩時の漏洩度 \quad (4)$$

ここで，LP(i)はクラウドサービス i の漏洩確率を表すものである．また，P(n)はデータを預けた n 個のクラウドサービスの冪集合である．これによって，データを預けたクラウドサービスのうち x 個から漏洩が起きる確率を求めることができる．

次に x 個漏洩した時の元の秘密情報の漏洩度を求める．これはデータのアップロード時に(k, L, n)しきい値秘密分散法を利用しているため，その性質より以下の式(5)に示す漏洩度が発生する．

$$情報特定率 = \begin{cases} 0 & (x \leq k - L) \\ 1 - \frac{k-x}{L} & (k - L < x < k) \\ 1 & (k \leq x) \end{cases} \quad (5)$$

3. ダウンロード時

ダウンロード時の評価指標を定式化する．ダウンロード時には稼働率と転送時間の 2 つの評価指標が関係する．

a. 可用性

稼働率はデータを預けた n 個のクラウドサービスのうち k 個のクラウドサービスが稼働している確率なので以下の式(6)の形で定義することができる．

$$稼働率 = \sum_{x=k}^{n} \left(\sum_{i \in \{y | y \in P(n),\ |y| = x\}} \prod A(i) \prod_{j \in n-y} \{1 - A(j)\} \right) \quad (6)$$

ここで，A(i)はクラウド i の稼働率とする．

b. 転送時間

転送時間は，預けた n 個のデータのうちから k 個取り出せばよいので以下の式(7)の形で定義することが出来る．

$$転送時間 = \frac{k}{Ln} \sum_{i \in n} \frac{1}{クラウドiの通信速度} \ldots (7)$$

３． 評価

ここでは，提案手法で示したユーザの要求項目に対応した式を用いて，現在の社会において実際に利用されているパブリッククラウドサービスを複数用意し，マルチクラウド環境を構築するための最適なクラウドサービスの組み合わせが選択出来るかについて評価を行う．また，実際に提案手法の機能を実装したプロトタイプを作成し，通信時間などの指標が有効であるかについても評価した．

本研究では，評価に際して利用したパブリッククラウドサービスは Google Drive，CloudN，BOX，Dropbox 及び One Drive である．これらのパブリッククラウドサービスは SLA の内容を公開しており，クラウドサービスの契約を行わずに SLA の内容を確認することが出来た．また，プロトタイプの作成については Google Drive，BOX，Dropbox 及び One Drive の 4 つのクラウドサービスを利用した．これらのパブリッククラウドサービスはクラウドサービスより API が提供されており，本提案手法におけるマッチング部から(k, L, n)秘密分散法を利用して分散情報を預ける機能を実装することが出来る．

（１）実際の SLA における項目の抽出

まず初めに，前節で示した 5 つのクラウドサービスについて，SLA の項目を確認し，提案手法における稼働率・機密性・コスト・パフォーマンスの 4 つの指標についての記載があるか否かを確認した．その結果を以下の表 3 SLA の項目と 4 指標の有無に示す．

表 3　SLA の項目と 4 指標の有無

サービス	稼働率	機密性	コスト	パフォーマンス
Google Drive	有り	有り	有り	無し
CloudN	有り	有り	有り	無し
Box	有り	有り	有り	無し
One Drive	有り	有り	有り	無し
Dropbox	無し	無し	有り	無し

SLA に記載があった項目についてはそのまま SLA に記述されている値を利用し，記載無しの項目については SLA の記述を元に推測できるものについては値を想定した．具体的には，パフォーマンスの項目については，プロトタイプを用いてクラウドサービスへのアップロード時間及びダウンロード時間を測定するものとする．

4 つの指標について，各クラウドサービスの SLA より抽出された値を纏めたものを以下の表 4　SLA より求めたクラウドサービスの性質に示す．

表 4　SLA より求めたクラウドサービスの性質

サービス名	稼働率	機密性	コスト
Google Drive	0.999	0.01	16.6
CloudN	0.9999	0.1	8.60
Box	0.999	0.5	6.00
One Drive	0.999	0.1	0.54
Dropbox	0.9999	0.5	0.00

機密性については，Google Drive は SLA においてセキュリティ規格の取得をしていることが明記されているため，最も高く設定をした．対して，Box 及び Dropbox にはセキュリティポリシーに関する記述が SLA に一切なかったため機密性を低く設定した．

1. クラウドサービスの組み合わせの導出

前節で示した表 4　SLA より求めたクラウドサービスの性質及び式(2)，(4)，(6)を用いて全てのクラウドサービスの組み合わせにおけるマルチクラウド環境の評価を行った．また，(k，L，n)しきい値秘密分散法のパラメータである k，L，n も変化させることでマルチクラウド環境の性質がどのように変化するかについても評価を行った．ここで，Google Drive，CloudN，BOX，Dropbox 及び One Drive はそれぞれ P1，P2，P3，P4，P5 とする．以下に，クラウドサービスをそれぞれ 2 つ，3 つ，4 つ使用した際のクラウドサービスの組み合わせとその組み合わせによって構築されたマルチクラウド環境の性質を**表 5 クラウドを 2 つ使用したマルチクラウド環境の組み合わせ一覧**，**表 6 クラウドを 3 つ使用したマルチクラウド環境の組み合わせ一覧**及び**表 7　クラウドを 4 つ使用したマルチクラウド環境の組み合わせ一覧**に示す．

表 5 クラウドを 2 つ使用したマルチクラウド環境の組み合わせ一覧

k	L	n	稼働率	機密性	コスト	内容
1	2	2	0.9989001	0.001	25.2	P1,P2
1	2	2	0.998001	0.005	22.6	P1,P3
1	2	2	0.998001	0.001	17.14	P1,P4
1	2	2	0.9989001	0.005	16.6	P1,P5
1	2	2	0.9989001	0.05	14.6	P2,P3
1	2	2	0.9989001	0.01	9.14	P2,P4
1	2	2	0.99980001	0.05	8.6	P2,P5
1	2	2	0.998001	0.05	6.54	P3,P4
1	2	2	0.9989001	0.25	6	P3,P5
1	2	2	0.9989001	0.05	0.54	P4,P5

表 6 クラウドを 3 つ使用したマルチクラウド環境の組み合わせ一覧

k	L	n	稼働率	機密性	コスト	内容
2	1	3	0.9999988	0.055	31.2	P1,P2,P3
2	1	3	0.9999988	0.0118	25.74	P1,P2,P4
2	1	3	0.99999979	0.055	25.2	P1,P2,P5
2	1	3	0.999997002	0.055	23.14	P1,P3,P4
2	1	3	0.9999988	0.255	22.6	P1,P3,P5
2	1	3	0.9999988	0.5545	17.14	P1,P4,P5
2	1	3	0.9999988	0.1	15.14	P2,P3,P4
2	1	3	0.99999979	0.775	14.6	P2,P3,P5
2	1	3	0.99999979	0.1	9.14	P2,P4,P5
2	1	3	0.9999988	0.775	6.54	P3,P4,P5
3	1	3	0.9979012	0.0005	31.2	P1,P2,P3
3	1	3	0.9979012	0.0001	25.74	P1,P2,P4
3	1	3	0.99880021	0.0005	25.2	P1,P2,P5
3	1	3	0.997002999	0.0005	23.14	P1,P3,P4
3	1	3	0.9979012	0.0025	22.6	P1,P3,P5
3	1	3	0.9979012	0.5545	17.14	P1,P4,P5
3	1	3	0.9979012	0.005	15.14	P2,P3,P4
3	1	3	0.99880021	0.025	14.6	P2,P3,P5
3	1	3	0.99880021	0.005	9.14	P2,P4,P5
3	1	3	0.9979012	0.025	6.54	P3,P4,P5

表 7　クラウドを 4 つ使用したマルチクラウド環境の組み合わせ一覧

k	L	n	稼働率	機密性	コスト	内容
2	1	4	0.99999999870	0.10495	31.74	P1,P2,P3,P4
2	1	4	0.99999999978	0.30475	31.2	P1,P2,P3,P5
2	1	4	0.9999999998	0.10495	25.74	P1,P2,P4,P5
2	1	4	0.9999999987	0.30475	23.14	P1,P3,P4,P5
2	1	4	0.99999999978	0.3475	15.14	P2,P3,P4,P5
3	1	4	0.999996703	0.00595	31.74	P1,P2,P3,P4
3	1	4	0.99999859	0.02775	31.2	P1,P2,P3,P5
3	1	4	0.99999859	0.00595	25.74	P1,P2,P4,P5
3	1	4	0.999996703	0.02775	23.14	P1,P3,P4,P5
3	1	4	0.99999859	0.0525	15.14	P2,P3,P4,P5
4	1	4	0.996903299	0.00005	31.74	P1,P2,P3,P4
4	1	4	0.99780141	0.00025	31.2	P1,P2,P3,P5
4	1	4	0.99780141	0.00005	25.74	P1,P2,P4,P5
4	1	4	0.996903299	0.00025	23.14	P1,P3,P4,P5
4	1	4	0.99780141	0.0025	15.14	P2,P3,P4,P5

2.結果と考察

前節で示した表により，様々なユーザの要求を満たすことが出来るクラウドサービスの組み合わせが存在することを示す.

まず初めに，ユーザの要求が可用性や機密性よりもコストを重視した場合を考える．(k, L, n)しきい値秘密分散法において k=2,L=1,n=2 のパラメータを利用し，クラウドサービス P4 及び P5 の組み合わせによるマルチクラウド環境が最もコストが低い値になっている．よって，このクラウドサービスの組み合わせを利用すれば良いということが分かる.

次に，ユーザの要求が機密性やコストよりも可用性を重視した場合を考える．その場合は稼働率が最も高いクラウドサービスの組み合わせを選択すれば良い．よって，以下の表 8　可用性を重視したマルチクラウド環境を利用することが出来る.

表 8　可用性を重視したマルチクラウド環境

k	L	n	稼働率	機密性	コスト	内容
2	1	4	0.99999999978	0.30475	31.2	P1,P2,P3,P5
2	1	4	0.99999999978	0.3475	15.14	P2,P3,P4,P5

これらの組み合わせの中から，ユーザが機密性やコストのどの程度重視するかによってクラウドサービスの組み合わせを選択することが出来る．例えば，ユーザが可用性かつコストを重視するのであればクラウドサービス P2,P3,P4,P5 の組み合わせを選択すれば良い．逆に，可用性かつ機密性を重視するのであればクラウドサービス P1,P2,P3,P5 の組み合わせを選択すれば良い.

最後に，ユーザの要求が可用性やコストよりも機密性を重視した場合を考える．(k, L, n)しきい値秘密分散法において k=4,L=1,n=4 のパラメータを利用し，クラウドサービス P2,P3,P4,P5 の組み合わせによるマルチクラウド環境が最も機密性が高い．ここで，選択されたクラウドサービスは上述の可用性を重視した際のクラウドサービスの組み合わせと同等であるが，(k, L, n)しきい値秘密分散法のパラメータである k の値が異なっている．しきい値である k の値を増大させたことにより，機密性の値が向上した．逆に，稼働率の値は k=2 の時と比べ低下している．これにより，表 4　ユーザの要求項目と(k, L, n)秘密分散法のパラメータとの関係で示した可用性と機密性のトレードオフの関係が正しく成り立っていることが分かる.

（2）プロトタイプの実装とその評価

本研究では，提案手法を実環境上で実装したプロトタイプを作成した．前節で示した通り，プロトタイプの作成については Google Drive, BOX, Dropbox 及び One Drive の 4 つのクラウドサービスを利用した．プロトタイプの実装モデルの構成図を以下の図 3　プロトタイプの構成図に示す.

上述したプロトタイプを用いて，ユーザの要求を元に本提案手法によりクラウドサービスの組み合わせを決定し，(k, L, n)しきい値秘密分散法を用いて実際にパブリッククラウドに分散情報をアップロードした．また，パブリッククラウドから分散情報をダウンロードすることで元の情報に復号出来ることを確認する.

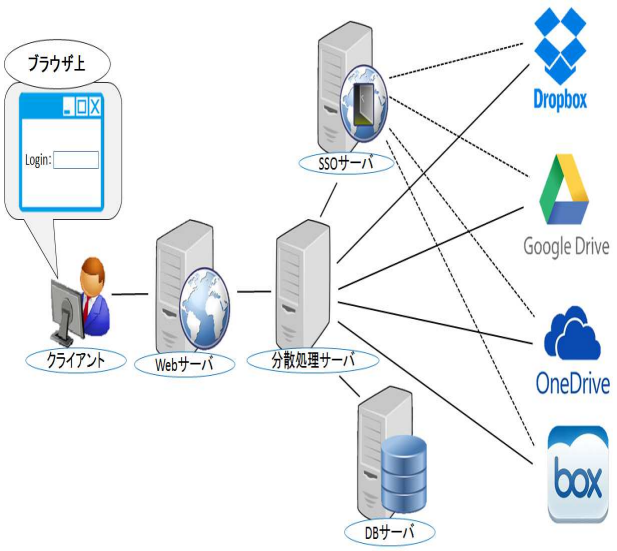

図 3　プロトタイプの構成図

まず初めに，ユーザは要求項目として機密性=2.0，可用性=2.0 を指定し，保存したいファイルである「aaa.txt」を Web サーバを通して分散処理サーバに送信した.

分散処理サーバが提案手法により最適なクラウドサービスの組み合わせ k=2,L=1,n=3 のパラメータを使用した時に One　Drive,Dropbox,Box を組み合わせたマルチクラウド環境であるため，これを最適なクラウドサービスの組み合わせとして選出した.

これにより，(k，L，n)しきい値秘密分散法を用いて分散情報である「aaa.txt_0.dat」，「aaa.txt_1.dat」及び「aaa.txt_2.dat」を生成し，　One Drive，Dropbox，Box の各クラウドサービスにアップロードした. その結果を以下の図　4 Dropbox へのアップロード結果，図　5 Google Drive へのアップロード結果，図 6 Box へのアップロード結果，図 7 One Drive の内容に示す.

図　4 Dropbox へのアップロード結果

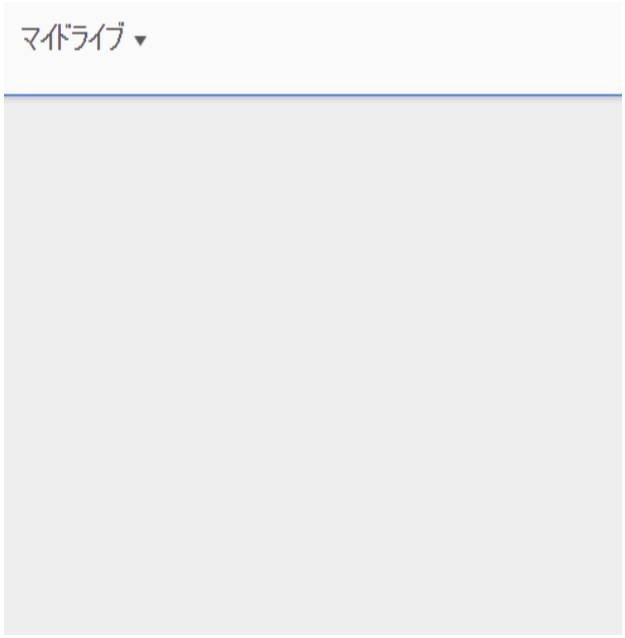

図　5 Google Drive の内容

図　6 Box へのアップロード結果

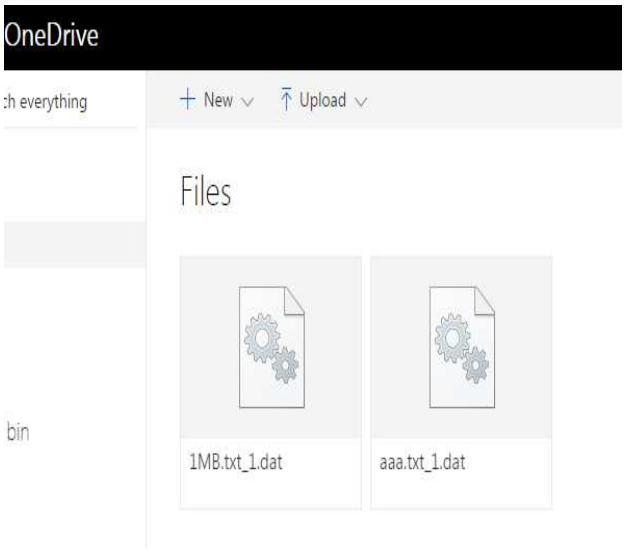

図　7 One Drive へのアップロード結果

これらの図より，選択された最適なクラウドサービス

の組み合わせに対して分散情報が送信され，選択されなかったクラウドサービスには分散情報が送信されなかったことがわかった．

４．結論

本研究では，クラウドストレージサービスにおいて，クラウドサービスの SLA とユーザの要求項目を用いて最適なクラウドサービスの組み合わせを決定する方法を示した．また，実際に社会で利用されているパブリッククラウドを利用して評価することにより，本提案手法が有効であることを示した．

しかし，本提案手法を実際に運用する際の実用性という点ではいくつかの問題点が存在する．今回のプロトタイプではクラウドサービスにより API が既に用意されており，外部アプリケーションから利用することを許しているクラウドサービスのみを利用しているが，そのような利用方法を許していないクラウドサービスも数多く存在する．それらのクラウドサービスを本提案手法で利用するための解決策を模索する必要がある．また，外部アプリケーションから利用することを許しているクラウドサービスでも，複数のクラウドサービスを利用する本提案手法が倫理的に良いものなのかを議論する必要がある．また，クラウドサービスの機密性が実際どの程度のものであるかについては公開されていない場合が多く，それらの機密性を正確に評価するための方法も確立されていない．加えて，ユーザの要求項目は主観的な判断によるものであり，定量化がなされていない．それらの定量化の手法も議論する必要がある．

参考文献

1) (NIST), http://www.nist.gov/itl/cloud/

2) A. Bessani, M. Correia, B. Quaresma, F. André and P. Sousa, "DEPSKY: dependable and secure storage in a cloud-of-clouds", EuroSys'11:Proc. 6thConf. on Computer systems, 2011, pp. 31-46.

3) H. Abu-Libdeh, L. Princehouse and H.Weatherspoon, "RACS: a case for cloud storage diversity", SoCC'10:Proc. 1st ACM symposium on Cloud computing, 2010, pp. 229-240.

4) M. Vukolic,"The Byzantine empire in the intercloud", ACM SIGACT News, 41,2010, pp. 105-111.

5) H. Yamamoto, “Secret Sharing System using (k, L, n) threshold scheme,” Electron. Commun. Jpn. (Part I: Commun.), vol. 69, no. 9, pp.46-54, 1986.

6) A. Shamir, "How to share a secret", Communications of the ACM, 22(11), 1979, pp.612-613.

7) Yuuki Kajiura, Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato, “A File-distribution Approach to Achieve High Availability and Confidentiality for Data Storage on Multi-cloud”, SAPSE2013, 2013

8) S. Ueno. A. Kanai. Y. Kajiura, “Approach to Selecting Cloud Services for Data Storage in Heterogeneous Multi-cloud Environment with High Availability and Confidentiality,” The First International Workshop on Service Assurance in System Wide Information Management (SASWIM2015), pp. 205-210., 2015.

9) S.Ueno, A.Kanai, “Evaluation of Selecting Cloud Services Approach for Data Storage using Secret Sharing Scheme,” PESARO2016, 2016.