

# データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

## Optimal Policy of a Replication Scheme Considering the Number of Data Update

木村充位

今泉充啓 †

中川暉夫 ‡

Mitsutaka Kimura Mitsuhiko Imaizumi Toshio Nakagawa

愛知学泉大学 † 愛知工業大学 ‡

### Abstract

This paper considers the problem of reliability in a server system with replication considering the number of data update. Our previous paper have formulated a model of a server system with replication that the server transmits the database content to a backup site after the number of times data update in a main site. In this paper, we derive the probability of migrating routine work to the backup site and the probability of the system down. Further, we calculate the cost effectiveness and discuss an optimal replication interval to minimize it. Finally, in asynchronous and in synchronous replications, numerical examples are given to compare the performance of them.

**Keywords;** Disaster, Asynchronous Replication, Synchronous Replication, Optimal Policy

### 1 はじめに

近年, 災害によるデータ損失の対応として, レプリケーションを使って, サーバのデータが保護されている. レプリケーションとは被災に備えてネットワークを介して遠隔地にバックアップデータを保存する手法であり, さらに被災後に業務再開できるサーバを備えたリモートサイトをもつことによりサーバの早期復旧も実現される [1]. レプリケーションは通常, 同期型と非同期型の二種類に分けられる. 同期型では, メインサイトとリモートサイトが常に同期をとりながらストレージへデータ更新を行う方法である. 一方, 非同期型は, メインサイトのストレージへデータ更新が行われた後, 任意のタイミングでリモートサイトのストレージへデータ更新が行われる方法である [2] ~ [6]. レプリケーションをデータの同期をとりながら実行するか, それとも任意のタイミングで実行するかは, 被災により失われるクライアントの更新データを, 損失コストと考えた場合, メインサイトで頻繁にデータ更新を行うような場合は常に同期をとりながらリモートサイトへレプリケーションを行った方がよく, メインサイトでデータ更新があまり行われない場合は, 任意のタイミングでリモートサイトへレプリケーションを行う方がよいと考えられている [5].

文献 [9] や [10] において著者らは, メインサイトで  $k(\geq 1)$  回のデータ更新が行われたときに, リモートサイトへレプリケーションを行うサーバシステムの信頼性モデルを提案し, 信頼性に関する諸問題を議論した.

ここでは, 文献 [9] の信頼性モデルにおいてコスト有効性 [8] の評価尺度を導入し, コスト有効性を最小にする最適なレプリケーション間隔  $k^*$  を求めることにより, 同期型と非同期型のいずれの方策が得策であるかについて議論する. 例えば  $k^* = 1$  の場合, 同期型のレプリケーションを行うことが得策であり,  $k^* > 1$  の場合, 非同期型のレプリケーションを行うことが得策である.

メインサイトで広域災害が発生した場合, リモートサイトへ業務が引き継がれる確率や引継ぎに失敗し, システムダウンに至る確率などを解析的に導出する. さらに, これらを用いてコスト有効性を求め, コスト有効性を最小にする最適なレプリケーション間隔  $k^*$  を解析的に導出する. 最後に同期型と非同期型のいずれの方策が得策であるかについて, 数値例により考察する.

### 2 モデルの設定

システムの概念図を, 図 1 に示す.

監視サーバとメインサイト及びリモートサイトで構成される遠隔距離通信のネットワークシステムを考える. メインサイトとリモートサイトは, それぞれサーバとストレージで構成されており, リモートサイトは待機系として常駐する. メインサイトのサーバは通常業務を行い, クライアントの要求によりストレージへデータ更新が行われる. また, 監視サーバはメインサイトのストレージについて, ある間隔でリモートサイトのストレージにレプリケーションの指示を行う.

データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

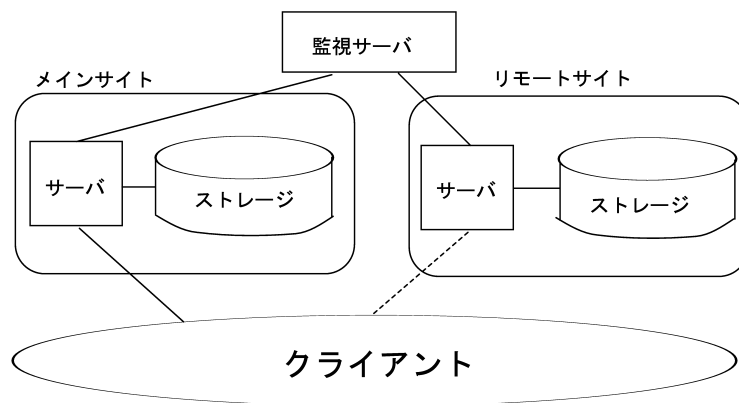


図 1. システムの概要図.

Fig.1 Outline of a system.

ここでは、監視サーバの動作に注目し、メインサイトにおけるストレージのデータ更新に着目してモデル化を行う [9]. すなわち、監視サーバは、メインサイトの状態を常時監視し、クライアントの要求によって  $k$  回のデータ更新が行われたならば、ネットワークを介してリモートサイトのストレージへレプリケーションを行う. なお、メインサイトでは広域災害が発生した場合、通常業務は停止するものとし、リモートサイトでは災害が発生した場合、ただちに復旧処理が開始されることを仮定する.

- (1) 広域災害の発生時間々隔は、ランダム性を考慮して指数分布に従うものとし、メインサイトにおける確率分布を、 $F_1(t) = 1 - e^{-\lambda_1 t}$  とする.
  - (a) リモートサイトが正常ならば、メインサイトを瞬時にグループから切り離し、リモートサイトへ切り替える.
  - (b) リモートサイトが障害状態にあれば、システムダウンに至る. ここで、リモートサイトの障害発生間隔は、指数分布  $F_2(t) = 1 - e^{-\lambda_2 t}$  に従うものとする.
- (2) メインサイトでは、クライアントからのデータ更新要求が指数分布  $A(t) = 1 - e^{-\alpha t}$  に従ってランダムに発生し、そのデータ更新処理は分布  $B(t) = 1 - e^{-\beta t}$  に従って完了するものとする.
- (3) 監視サーバは、メインサイトの状態を常時監視する. ここで、メインサイトにおいて、クライアントの要求によって  $k$  回 ( $k = 1, 2, \dots$ ) のデータ更新が行われたとき、リモートサイトの状態を確認し、ネットワークを介してリモートサイトのストレージへレプリケーションを開始する.
  - (a) もしリモートサイトが正常状態のとき、ネットワークを介してリモートサイトのストレージへレプリケーションを開始する. このレプリケーションに要する時間分布は指数分布  $W_1(t) = 1 - e^{-w_1 t}$  とする. ここで、もしレプリケーション中にメインサイトとリモートサイトのいずれかに障害が発生した場合は、システムダウンに至ると仮定する.
  - (b) リモートサイトが障害状態にあれば、その復旧を待つ. リモートサイトの復旧に要する時間分布は  $G(t) = 1 - e^{-\gamma t}$  に従うものとする.
    - (i) もしリモートサイトが復旧完了前に、メインサイトに広域災害が発生すれば、システムダウンに至る.
    - (ii) もしリモートサイトが復旧完了前に、メインサイトにデータ更新要求があれば、データ更新を行う.
    - (iii) 復旧完了後はレプリケーションを行う. このレプリケーションに要する時間分布は指数分布  $W_2(t) = 1 - e^{-w_2 t}$  とする. なお、このときのレプリケーションに要する平均時間  $1/w_2$  はメインサイトでのデータ更新量が  $k$  回以上となるため、 $1/w_2 \geq 1/w_1$  とする. ここで、もしレプリケーション中にメインサイトとリモートサイトのいずれかに障害が発生した場合は、システムダウンに至ると仮定する.

データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

まず、リモートサイトの状態推移確率を求める。文献 [9] により、リモートサイトの状態を、

状態 0 : 正常状態.

状態 1 : 障害発生.

と定義すると、リモートサイトが時刻 0 で状態  $i$  にあり、時刻  $t$  で状態  $j$  にある確率  $P_{ij}(t)(i, j = 0, 1)$  は以下のようなになる [7].

$$\begin{aligned} P_{00}(t) &= \frac{\gamma}{\lambda_2 + \gamma} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \gamma} e^{-(\lambda_2 + \gamma)t}, \\ P_{01}(t) &= 1 - P_{00}(t). \end{aligned}$$

さらに、監視サーバを含む非同期型ネットワークシステムの状態を次のように定義する。

状態 2 : システムの開始または再開始.

状態 3 : メインサイトのデータ更新処理を開始.

状態  $R_1$  : メインサイトが  $k$  回目のデータ更新処理を完了後、レプリケーション動作の開始.

状態 4 : メインサイトが  $k$  回目のデータ更新処理を完了後、リモートサイトが障害状態.

状態 5 : リモートサイトが障害状態で、メインサイトがデータ更新処理開始.

状態  $R_2$  : メインサイトがアイドルリング状態で、リモートサイトの復旧が完了し、レプリケーション動作の開始.

状態  $F$  : システムダウン.

状態  $S_W$  : リモートサイトへシステム業務の切り替え.

各状態間の推移は、マルコフ再生過程 [7] を形成し、その推移は図 2 のように表される。

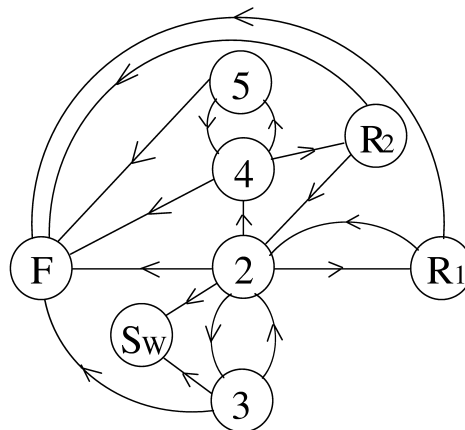


図 2. システムの状態推移図.

Fig2. A state transition diagram of a system.

各状態間の推移確率時間分布  $Q_{i,j}(t)(i = 2, 3, 4, 5, R_1, R_2; j = 2, 3, 4, 5, R_1, R_2, F, S_W)$  とおくと次式を得る.

$$Q_{2,3}(t) = \int_0^t \bar{F}_1(t) dA(t), \quad (1)$$

$$Q_{2,F}(t) = \int_0^t P_{01}(t) \bar{A}(t) dF_1(t), \quad (2)$$

データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

$$Q_{2,SW}(t) = \int_0^t P_{00}(t)\bar{A}(t)dF_1(t), \quad (3)$$

$$Q_{3,2}(t) = \int_0^t \bar{F}_1(t)dB(t), \quad (4)$$

$$Q_{3,F}(t) = \int_0^t P_{01}(t)\bar{B}(t)dF_1(t), \quad (5)$$

$$Q_{3,SW}(t) = \int_0^t P_{00}(t)\bar{B}(t)dF_1(t), \quad (6)$$

$$Q_{4,5}(t) = \int_0^t \bar{G}(t)\bar{F}_1(t)dA(t), \quad (7)$$

$$Q_{4,R_2}(t) = \int_0^t \bar{A}(t)\bar{F}_1(t)dG(t), \quad (8)$$

$$Q_{4,F}(t) = \int_0^t \bar{G}(t)\bar{A}(t)dF_1(t), \quad (9)$$

$$Q_{5,4}(t) = \int_0^t \bar{F}_1(t)dB(t), \quad (10)$$

$$Q_{5,F}(t) = \int_0^t \bar{B}(t)dF_1(t), \quad (11)$$

$$Q_{R_i,2}(t) = \int_0^t \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t)dW_i(t), \quad (i = 1, 2) \quad (12)$$

$$Q_{R_i,F}(t) = \int_0^t \bar{W}_i(t)\bar{F}_2(t)dF_1(t) + \int_0^t \bar{W}_i(t)\bar{F}_1(t)dF_2(t), \quad (i = 1, 2). \quad (13)$$

さて、システムが定常状態で状態  $SW$  にある確率  $P_{SW}$  と状態  $F$  にある確率  $P_F$  を求める。システムが時刻  $0$  で状態  $i (i = 2, 4)$  にあり、時刻  $t$  で状態  $SW$  にある確率分布を  $P_{i,SW}(t)$  とすると、次のような再生形方程式を得る。

$$P_{2,SW}(t) = \sum_{i=0}^{k-1} [Q_{2,3}(t) * Q_{3,2}(t)]^{(i)} * [Q_{2,SW}(t) + Q_{2,3}(t) * Q_{3,SW}(t)] \\ + [P_{2,R_1}(t) * Q_{R_1,2}(t) + P_{2,R_2}(t) * Q_{R_2,2}(t)] * P_{2,SW}(t), \quad (14)$$

$$P_{2,R_1}(t) = [Q_{2,3}(t) * Q_{3,2}(t)]^{(k-1)} * Q_{2,3}(t) * \int_0^t P_{00}(t)\bar{F}_1(t)dB(t), \quad (15)$$

$$P_{2,4}(t) = [Q_{2,3}(t) * Q_{3,2}(t)]^{(k-1)} * Q_{2,3}(t) * \int_0^t P_{01}(t)\bar{F}_1(t)dB(t), \quad (16)$$

$$P_{4,R_2}(t) = \sum_{i=1}^{\infty} [Q_{4,5}(t) * Q_{5,4}(t)]^{(i-1)} * Q_{4,R_2}(t), \quad (17)$$

$$P_{2,R_2}(t) = P_{2,4}(t) * P_{4,R_2}(t), \quad (18)$$

ここで、 $*$  は分布関数のたたみ込みを表し、一般に  $\Phi^{(i)}(t)$  は  $\Phi(t)$  の  $i$  重たたみ込みを表す。すなわち、 $\Phi^{(i)}(t) \equiv \Phi^{(i-1)}(t) * \Phi(t)$ ,  $\Phi_1(t) * \Phi_2(t) \equiv \int_0^t \Phi_2(t-u)d\Phi_1(u)$ ,  $\Phi^{(0)}(t) \equiv 1$  である。一般に  $\Phi(t)$  の LS (ラプラス・スティルチェス) 変換を  $\phi(s) \equiv \int_0^{\infty} e^{-st}d\Phi(t)$  とおき、式 (14) ~ 式 (18) を LS 変換し、 $p_{2,SW}(s)$  について再生方程式を解くことによって、次式を得る。

$$p_{2,SW}(s) = \frac{\frac{1 - [q_{2,3}(s)q_{3,2}(s)]^k}{1 - q_{2,3}(s)q_{3,2}(s)} [q_{2,SW}(s) + q_{2,3}(s)q_{3,SW}(s)]}{1 - [p_{2,R_1}(s)q_{R_1,2}(s) + p_{2,R_2}(s)q_{R_2,2}(s)]}. \quad (19)$$

従って、システムが、定常状態で状態  $SW$  にある確率  $P_{SW}$  は次のように求めることができる。

$$P_{SW} \equiv \lim_{s \rightarrow 0} p_{2,SW}(s)$$

データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

$$= \frac{H(1 - X^k)}{1 - (B + D)X^k}, \quad (20)$$

ここで,

$$\begin{aligned} X &\equiv \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \lambda_1)(\beta + \lambda_1)}, & A &\equiv \frac{\lambda_1 + \beta + \gamma}{\lambda_1 + \lambda_2 + \beta + \gamma}, & B &\equiv A \left( \frac{w_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + w_1} \right) \\ C &\equiv \frac{\gamma\lambda_2(\beta + \lambda_1)}{[\alpha\lambda_1 + (\gamma + \lambda_1)(\beta + \lambda_1)][\lambda_1 + \lambda_2 + \beta + \gamma]}, & D &\equiv C \left( \frac{w_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + w_2} \right), \\ H &= \frac{\lambda_2}{\alpha + \beta + \lambda_1} \left[ \frac{\beta + \lambda_1}{\alpha + \lambda_1 + \lambda_2 + \gamma} + \frac{\alpha}{\beta + \lambda_1 + \lambda_2 + \gamma} \right]. \end{aligned}$$

同様に, システムが定常状態で状態  $F$  にある確率  $P_F$  は次のように求めることができる.

$$P_F = \frac{I(1 - X^k) + X^k(1 - B - D)}{1 - (B + D)X^k}, \quad (21)$$

ここで,

$$I = \frac{1}{\alpha + \beta + \lambda_1} \left[ \frac{(\beta + \lambda_1)(\alpha + \lambda_1 + \gamma)}{\alpha + \lambda_1 + \lambda_2 + \gamma} + \frac{\alpha(\beta + \lambda_1 + \gamma)}{\beta + \lambda_1 + \lambda_2 + \gamma} \right],$$

明らかに,  $H + I = 1, P_F + P_{SW} = 1$  である.

また文献 [9] より, システムが状態  $F$  または状態  $SW$  に至るまでのレプリケーションの平均回数  $M_R$  とシステムが状態  $F$  または状態  $SW$  に至るまでに状態  $R_1, R_2$  を訪問しない場合のデータの平均更新回数  $M_D$  はそれぞれ次のようになる.

$$M_R = \frac{AX^k}{1 - BX^k} + \frac{CX^k}{1 - DX^k}, \quad (22)$$

$$M_D = E - (E + k)X^k + F(G + k)X^k, \quad (23)$$

ここで,

$$\begin{aligned} E &\equiv \frac{\alpha\beta}{\lambda_1(\alpha + \beta + \lambda_1)}, & F &\equiv \frac{\lambda_1\lambda_2(\alpha + \beta + \lambda_1)}{[\alpha\lambda_1 + (\gamma + \lambda_1)(\beta + \lambda_1)][\lambda_1 + \lambda_2 + \beta + \gamma]} \\ G &\equiv \frac{\alpha\beta}{\alpha\lambda_1 + (\gamma + \lambda_1)(\beta + \lambda_1)}. \end{aligned}$$

### 3 最適方策

ここでは, 最適方策の尺度としてコスト有効性 [8] を用いることとする. レプリケーションなどの復旧機能の設定と運用に伴って必要となるシステム資源 (メモリ空間や時間空間など) の増分をコストとしてとらえ, 1 回のレプリケーションに伴う費用を  $c_R$ , 1 回もレプリケーションできずにシステムが停止した場合, 1 回のデータ更新の損失費用を  $c_D$  とする. さらに被災後リモートサイトへ業務が引き継がれる確率  $P_{SW}$  を有効性に対応させ, コスト有効性  $E(k)$  を次のように定義する.

$$E(k) \equiv \frac{c_R M_R + c_D M_D}{P_{SW}}. \quad (24)$$

ここで  $M_R, M_D, P_{SW}$  について, それぞれを  $k$  の関数と考え便宜的に  $M_R(k), M_D(k), P_{SW}(k)$  と表すと, 次のように書き換えることができる.

$$E(k) = \frac{c_R \left( \frac{AX^k[1 - (B+D)X^k]}{1 - BX^k} + \frac{CX^k[1 - (B+D)X^k]}{1 - DX^k} \right) + c_D [E - (E + k)X^k + F(G + k)X^k] [1 - (B + D)X^k]}{H(1 - X^k)}. \quad (25)$$

データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

ここで、 $E(k)$  を最小にする最適なレプリケーション間隔  $k^*$  を求める。すなわち、 $E(k)$  を最小にする  $k^*$  を求めることにより同期型、非同期型のいずれの方策が得策であるかを示す。例えば、 $k^* = 1$  であるならば、同期型のレプリケーションを採用するのが得策であり、 $k^* > 1$  であるならば、非同期型のレプリケーションを採用するのが得策である。

$E(k+1) - E(k) \geq 0$  とおくことにより、

$$\frac{[E - FG + (1 - F)k](1 - X)\{1 - (B + D)X^k[1 + X - X^{k+1}]\} - (1 - F)X(1 - X^k)[1 - (B + D)X^{k+1}] - E(1 - X)(1 - B - D)}{\left[ \frac{A(1 - X)\{1 - (B + D)(1 + X)X^k + [D + B(B + D)]X^{2k+1}\}}{(1 - BX^k)(1 - BX^{k+1})} + \frac{C(1 - X)\{1 - (B + D)(1 + X)X^k + [B + D(B + D)]X^{2k+1}\}}{(1 - DX^k)(1 - DX^{k+1})} \right]} \geq \frac{c_R}{c_D}, \quad (26)$$

を得る。ここで、式 (26) の左辺を  $L(k)$  とおくと、

$$L(1) = \frac{[E - FG + (1 - F)](1 - X)\{1 - (B + D)X[1 + X - X^2]\} - (1 - F)X(1 - X)[1 - (B + D)X^2] - E(1 - X)(1 - B - D)}{\left[ \frac{A(1 - X)\{1 - (B + D)(1 + X)X + [D + B(B + D)]X^3\}}{(1 - BX)(1 - BX^2)} + \frac{C(1 - X)\{1 - (B + D)(1 + X)X + [B + D(B + D)]X^3\}}{(1 - DX)(1 - DX^2)} \right]}$$

$$L(\infty) = \infty,$$

より、式 (26) を満たす有限な  $k^*$  は必ず存在する。従って、次のような最適方策を得ることができる。

- (i) もし  $L(1) \geq \frac{c_R}{c_D}$  ならば、 $k^* = 1$  である。すなわち、同期型レプリケーションが得策であることを示す。
- (ii) もし  $L(1) < \frac{c_R}{c_D}$  ならば、式 (26) を満たす有限な  $k^* (> 1)$  が存在する。すなわち、非同期型レプリケーションが得策であることを示す。

#### 4 数値例

最適なレプリケーション間隔  $k^*$  について具体的な数値を求める。ここでは、データ更新の平均処理時間を  $1/\beta$  をシステムの単位時間と考える。また、広域災害が発生する平均発生間隔を  $(1/\lambda_1), (1/\lambda_2) = 1000, 2000$  リモートサイト復旧完了の平均時間を  $(1/\gamma) = 500 \sim 2000$  とおく。さらに、データ更新の平均要求間隔  $1/\alpha = 10, 50$ 、1回のレプリケーションに要する平均時間を  $1/w_1 = 60, 90, 1/w_2 = 60 \sim 120$  とおく。

期待費用設定のためのパラメータは、1回のデータ更新の損失費用  $c_D$  を単位費用として設定し、他を相対的な費用比  $c_R/c_D$  として数値計算を行う。すなわち、1回のレプリケーションに伴う費用を  $c_R/c_D = 1/450, 2, 5$  と仮定する。以上のような仮定のもとで、コスト有効性  $E(k)$  を最小にする  $k^*$  を表 1 に示す。

表 1 によれば、コスト有効性を最小にする最適なレプリケーション間隔  $k^*$  は、同一の費用比  $c_R/c_D$  の下で、データ更新の平均要求間隔  $1/\alpha$  が大きくなるにつれて減少する。また、広域災害が発生する平均発生間隔  $1/\lambda_1$  や  $1/\lambda_2$  が大きくなるにつれて増大し、リモートサイトの復旧に要する時間  $1/\gamma$  に依存せず一定となる。さらに費用比  $c_R/c_D$  が大きくなるにつれて増大する。同一の費用比  $c_R/c_D$  の下で、レプリケーションに要する平均時間  $1/w_1, 1/w_2$  には依存せずほぼ一定の値となる。

また、非同期型および同期型におけるコスト有効性について、そのコスト有効性とデータ更新の要求間隔の関係について考察する。  $1/w_1 = 60, 1/w_2 = 90, 1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 = 2000, 1/\gamma = 1000, c_R/c_D = 2$  のとき、すなわち  $c_R > c_D$  のようなサーバシステムの環境であった場合、非同期型の  $E(k^*)$  と同期型の  $E(1)$  を図 3 に示す。図 3 によれば、期待費用  $E(1)$  はデータ更新の平均要求間隔が大きくなるにつれて減少し、 $E(k^*) < E(1)$  より、非同期型の方が有効であることを示している。

一方、  $1/w_1 = 60, 1/w_2 = 90, 1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 = 2000, 1/\gamma = 1000, c_R/c_D = 1/450$  のとき、すなわち  $c_D \gg c_R$  のようなサーバシステムの環境であった場合、非同期型の  $E(k^*)$  と同期型の  $E(1)$  を図 4 に示す。すなわち、1回のデータ更新の損失費用が1回のレプリケーションに伴う費用より大きい場合を考察する。図 4 によれば、コスト有効性はデータ更新の平均要求間隔がある一定の値 (図 4 の  $1/\alpha^* = 50.0$ ) までは同期型  $E(1)$  が大きく、それ以降は非同期型  $E(k^*)$  と同期型  $E(1)$  は同じ値になっている。

データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

### 5 おわりに

広域災害が発生した場合のデータ損失に対応し、メインサイトで  $k$  回のデータ更新が行われたならば、ネットワークを介してリモートサイトのストレージへレプリケーションを行うと仮定した信頼性モデルを設定した。そのとき、リモートサイトへ業務が引き継がれる確率や引継ぎに失敗し、システムダウンに至る確率などを解析的に導出し、さらに、コスト有効性を最小にする最適方策を議論した。また、数値例において、同期型と非同期型をコスト有効性により比較した。

数値例による考察から、コスト有効性を最小にする最適なレプリケーション間隔は、データ更新の平均要求間隔が大きくなるにつれて減少することがわかった。さらに、 $c_R > c_D$  のようなサーバシステム的环境であった場合は非同期型が有効であり、 $c_D > c_R$  のようなサーバシステム的环境であった場合はデータ更新の平均要求間隔がある一定の値までは同期型より非同期型が有効であることがわかった。

このような広域災害に対応したサーバシステムの高信頼化の問題は、今後ますます重要な課題となることが考えられ、この方面に対する多くの研究が期待される。

表 1. コスト有効性  $E(k)$  を最小にする最適なレプリケーション間隔  $k^*$ .  
Table1. Optimal number of data update  $k^*$  to minimize  $E(k)$ .

$c_R/c_D$	$1/\alpha$	$1/w_1$	$1/w_2$	$1/\lambda_1 = 1/\lambda_2$			
				1000		2000	
				$1/\gamma$			
				500	1000	1000	2000
2	10	60	60	27	27	42	42
			90	27	27	42	42
		90	90	26	26	42	42
			120	26	26	42	42
	50	60	60	11	11	16	16
			90	11	11	16	16
		90	90	11	11	16	16
			120	11	11	16	16
5	10	60	60	39	39	60	60
			90	39	39	60	60
		90	90	38	38	59	59
			120	38	38	59	59
	50	60	60	16	16	24	24
			90	16	16	24	24
		90	90	16	16	24	24
			120	16	16	24	24

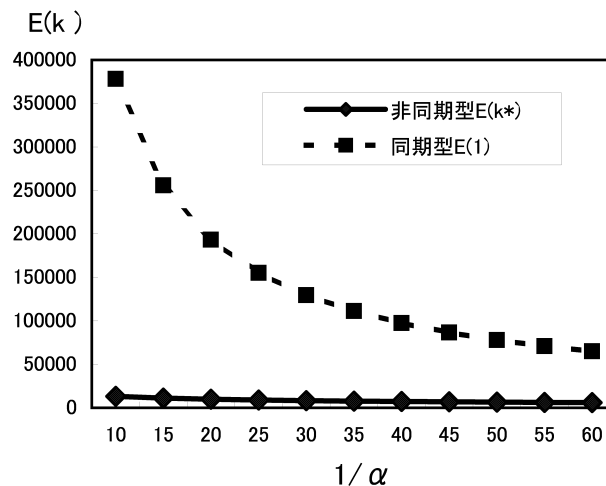


図 3.  $1/w_1 = 60, 1/w_2 = 90, 1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 = 2000, 1/\gamma = 1000, c_R/c_D = 2$  のときの  $E(k)$   
Figure 3.  $E(k)$  when  $1/w_1 = 60, 1/w_2 = 90, 1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 = 2000, 1/\gamma = 1000, c_R/c_D = 2$

## データ更新回数によるレプリケーションの最適方策

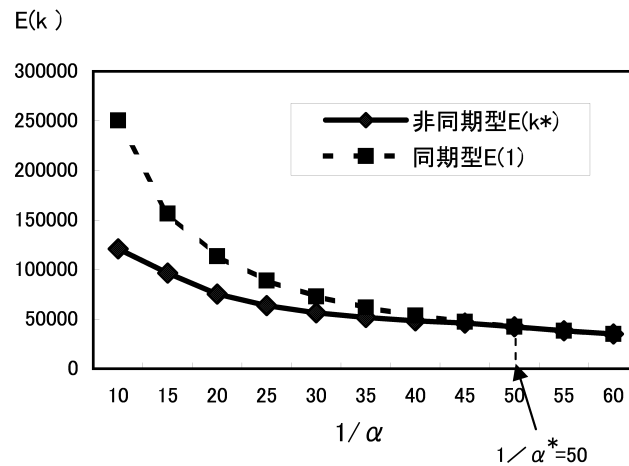


図 4.  $1/w_1 = 60, 1/w_2 = 90, 1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 = 2000, 1/\gamma = 1000, c_R/c_D = 1/450$  のときの  $E(k)$   
**Figure 4.**  $E(k)$  when  $1/w_1 = 60, 1/w_2 = 90, 1/\lambda_1 = 1/\lambda_2 = 2000, 1/\gamma = 1000, c_R/c_D = 1/450$

## 参考文献

- [1] 大和純一, 菅真樹, 菊池芳秀, “非常災害に向けた高度情報通信ネットワークの構成と制御小特集 5. 広域災害に対するストレージによるデータ保護”, 電子情報通信学会誌, vol.89 No.9 pp.801-805, 2006.
- [2] Oracle Corporation, “Oracle Database 10g の Oracle Data Guard 企業のための障害時リカバリ”, [http://otndnld.oracle.co.jp/products/database/oracle10g/pdf/DataGuardTechOverview\\_10gR1.pdf](http://otndnld.oracle.co.jp/products/database/oracle10g/pdf/DataGuardTechOverview_10gR1.pdf).
- [3] VERITAS Software Corporation, “VERITAS volume replication for UNIX datasheet”, [http://eval.veritas.com/mktginfo/products/Datasheets/High\\_Availability/vvr\\_datasheet\\_unix.pdf](http://eval.veritas.com/mktginfo/products/Datasheets/High_Availability/vvr_datasheet_unix.pdf).
- [4] 今井哲郎, 荒木荘一郎, 菅原智義, 藤田範人, 末村剛彦, “広域分散データセンサ間でのサービス無停止障害回避方式”, 信学技報, NS2003-293, IN2003-248, pp.199-202, March 2004.
- [5] 根元利弘, 喜連川優, “ホットレプリケーション: 三次記憶システムにおける高アクセス頻度データの複製クラスタリング手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.5, pp.1416-1431, May 2002.
- [6] EMC Corporation, “Using asynchronous replication for business continuity between two or more sites”, [http://www.emc.com/products/software/srdf\\_a/pdf/C1058\\_srdf\\_asynchronous\\_mode\\_wp\\_ldv.pdf](http://www.emc.com/products/software/srdf_a/pdf/C1058_srdf_asynchronous_mode_wp_ldv.pdf).
- [7] S. Osaki, “Applied Stochastic System Modeling”, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [8] 塩見 弘, “信頼性概論”, 東京電機大学出版局, 1992.
- [9] 木村充位, 今泉充啓, 中川覃夫, “データ更新量を考慮した非同期型レプリケーション方策のモデル化と解析”, 岐阜市立女子短期大学研究紀要第 58 輯, pp. 27-32, 2009.
- [10] Mitsutaka Kimura, Mitsuhiro Imaizumi, Toshio Nakagawa, “RELIABILITY CHARACTERISTICS OF AN ASYNCHRONOUS REPLICATION SYSTEM CONSIDERING THE NUMBER OF DATA UPDATE”, Proceedings of Fifteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in design. pp.200-204, August, 2009.

(提出期日 平成 21 年 11 月 30 日)