

## モバイルコンピューティング環境における 時間制約付きデータベースキャッシュ管理方式

和田 雄次\*      水野忠則  
三菱電機          静岡大学

本論文では携帯型コンピュータを用いたモバイルコンピューティング環境において、その携帯型コンピュータが複数の無線通信セル間を移動しながら、無線を用いてモバイルサポートサーバ経由でホストデータベースをアクセスするとき、そのセル間でシームレスなデータベースアクセスを保証するための時間制約付きデータベースシステムを提案する。

次に、その携帯型コンピュータが複数セル間を移動しながらホストデータベースをアクセスするときのデータベースキャッシュの管理方式を数種類提案する。

最後に、データベースアクセスの局所性が有る場合と無い場合の各々について、各々のキャッシュ管理方式下での平均データベースアクセス時間やセルデータベースのヒット率を乱数発生シミュレーションにより定量的に測定して比較評価する。

### 1 はじめに

近年、携帯電話や携帯型コンピュータの低価格化や高性能化により、その普及が急速に進んできた。こうしたモバイルコンピューティングの進展に伴い、そのコンピューティング環境からのデータベースアクセス要求も高まってきているが、その研究は緒についたばかりである [Alon93, Barb94, Huan94-1, Huan94-2, Imie92, Imie93, Imie94-1, Imie94-2, Imie94-3, 上林 95, 仲秋 95, 白井 95, 和田 95]。例えば、[Alon93]は既存データベースシステムに対するノマディックコンピューティングの影響（具体的には、バッテリー電源、無線通信などの問題）について議論している。[Barb94]はクライアントの電源断が高頻度で発生する無線コンピューティング環境におけるデータベースキャッシュ無効化手法を提案し、評価している。[Huan94-1, Huan94-2]はモバイルコンピュータのための静的および動的なデータ割当アルゴリズムを提案し、そのコストを評価分析している。[Imie92, Imie93, Imie94-1, Imie94-2]はモバイルコンピューティングという新パラダイムに対してデータベース技術から挑戦する際の問題点（例えば、無線データ放送、通信切断管理、電源節約型データアクセス）を提示している。[Imie94-3]はデータを多数の利用者に無線放送するときのそのデータの編成方法とアクセス方法を提案評価してい

る。[上林 95]は移動通信環境における質問処理の問題を扱っている。[仲秋 95, 白井 95]は移動体計算環境においてデータ要求を統合利用できる移動体ビューを提案し、更に特定のセルを指定したときのビューの維持方法やビュー機構の実装方法を議論している。また、モバイルデータベースへの適用を目指した研究も始まっており、例えば、[Lai95]はモバイルデータベース応用に向けた通信コスト削減プロトコルを提案している。

一方、本論文では無線携帯型コンピュータを用いたモバイルコンピューティング環境において、その携帯型コンピュータが複数の無線通信セル（以下、単にセルと呼ぶ。）間を移動しながらモバイルサポートサーバ経由でホスト計算機のデータベースをアクセスするための時間制約付きデータベースシステムを提案し、更に[和田 95]にて提案したホストデータベースとセルデータベース間のデータベースキャッシュの改良管理方式を追加提案し、各々のキャッシュ管理下での平均データベースアクセス時間やセルデータベースのヒット率をシミュレーションにより定量的に比較評価する。

\* 静岡大学大学院博士課程

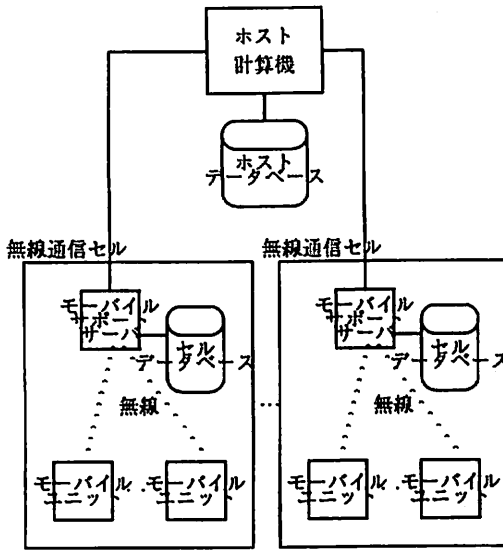


図 1: システム全体モデル

## 2 システムコンセプト

### 2.1 モバイルコンピューティング環境のモデル

本論文が研究対象とするモバイルコンピューティング環境におけるデータベースシステムは図 1 に示すようなモデルである。

**前提** 全体のシステムは複数のセルの集合体であり、各セルには複数のモバイルユニット（例えば、無線携帯型コンピュータなど）と 1 台のモバイルサポートサーバ（例えば、ワークステーションやパソコン）が存在している。そして、各モバイルサポートサーバにはセルデータベースが構築されている。更に、このモバイルサポートサーバはシステムの中心にあるホスト計算機にネットワーク経由で接続されている。そして、そのホスト計算機にはホストデータベースが構築されており、その部分集合がセルデータベースに格納されている。従って、モバイルユニットの利用者が複数のセル間を移動しながら無線を用いてモバイルサポートサーバ経由でホストデータベースにアクセスすることができる。このとき、ホストデータベースと複数のセルデータベースでデータをダウンロードしたり、あるいはアップロードしたりするためのデータベースキャッシュが図 2 に示したように行なわれる。

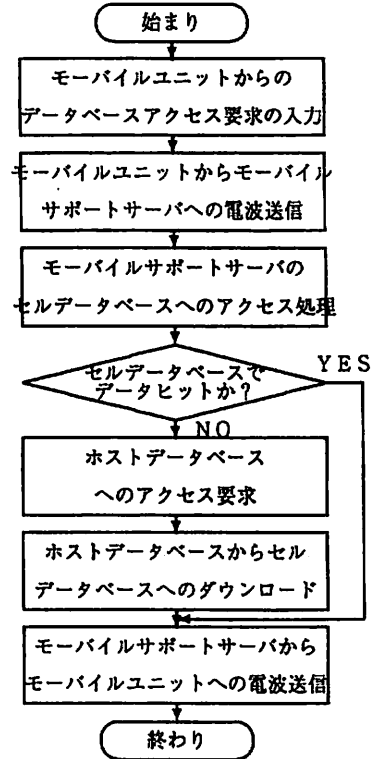


図 2: データベースアクセスの流れ図

### 2.2 時間制約付きデータベースシステム

**問題** モバイルユニットが当初データベースアクセス要求を發したセルとは異なる別のセルに移動した場合、モバイルサポートサーバとの無線接続が切断され、この結果ホスト計算機のデータベースサービスが受けられなくなってしまい、移動先セルにて、再度そのセル内のモバイルサポートサーバに接続し直さねばならない問題が発生する。

そこで、こうした問題を解決するために、本論文では時間制約の概念をデータベースシステムに導入し、かつモバイルユニットを考慮した新しいデータベースキャッシュ管理方式を提案する。本節では先ず時間制約付きデータベースシステムの概念を議論していく。

**解 1** 本論文で提案する時間制約付きデータベースシステムとは、図 3 と図 4 に示すようにホストデータベースアクセス要求を發したモバイルユニットがモバイルサポートサーバから見て自セル内に滞在しているか否かを判断するの

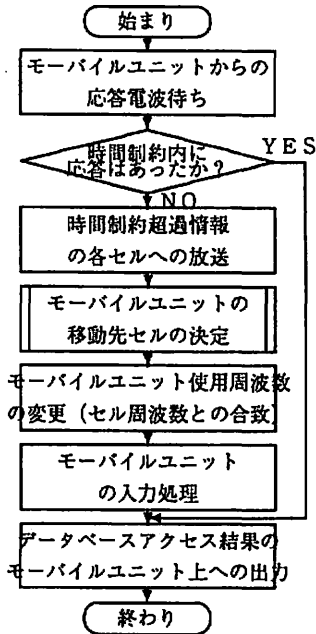


図 3: 移動元セル内時間制約処理の流れ図

に、そのモバイルサポートサーバから当該モバイルユニットへ無線送信したときの返信がある一定時間内にあったかどうかを調べる機能を有しているデータベースである。言い換えれば、ある制約時間内に応答が無かった場合は、当該モバイルユニットは別のセルに移動済みであると判断し、逆に応答が時間制約内にあったときは依然として自セル内に滞在していると判断する方式である。

### 2.3 データベースキャッシュ管理方式

解2 本論文で提案するデータベースキャッシュ管理方式は、以下のような手続きである。

1. モバイルユニットからのアクセス要求を受けた第1のセル内の第1のモバイルサポートサーバが、接続されている第1のセルデータベースにアクセス要求されたデータが存在するか否かを調べ、
2. データが存在しない場合、そのアクセス要求をホスト計算機へ通知し、
3. ホスト計算機はホストデータベースからのアクセス結果を第1のセルデータベース及び第1以外の第2のセル内の第2のモバイルサポートサーバに接続された第2のセルデータベースにも転送し、

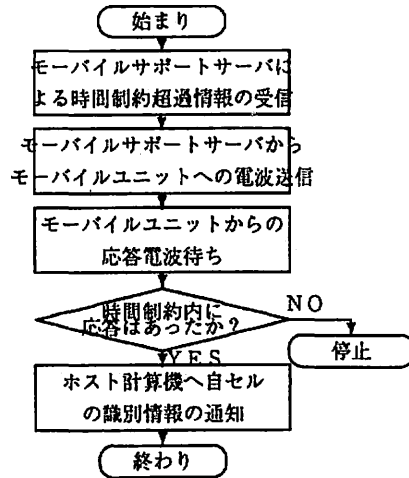


図 4: 移動先セル内時間制約処理の流れ図

4. 第1のモバイルサポートサーバは当該モバイルユニットが第1のセルに滞在しているか否かを判定し(前述の解1)、
5. 当該モバイルユニットが第1のセル内に滞在していない場合、第1のモバイルサポートサーバは当該モバイルユニットが第1のセル内に滞在していないことを第2のモバイルサポートサーバに通知し、
6. 第2のモバイルサポートサーバは当該モバイルユニットが第2のセル内に滞在しているか否かを判定し(前述の解1)、
7. その滞在を確認してから第2のセルデータベースに転送されたアクセス結果を当該モバイルユニットに転送する。

尚、上記の第2のセルは、[和田95]にて提案した

- 全セル：ホスト計算機により管理されている全てのセル
  - 隣接セル：第1のセルに隣接しているセル
- の2種類に、次の3種類を加えた計5種類である。
- 1セル置き：第1のセルから1個置き
  - 2セル置き：第1のセルから2個置き
  - 3セル置き：第1のセルから3個置き

### 3 シミュレーション評価

2.3節に記述したデータベースキャッシュ管理方式の性能を比較評価するために、モバイルユニットが複数セル間を移動しながら、無線によりモバイルサポートサーバ経由でホストデータベースをアクセスする状態を計算機シミュレーションした。また、このときのシミュレーションによる測定項目は、

- ホストデータベースアクセス経過時間の平均値
- セルデータベースのキャッシュヒット率

の2件である。

#### 3.1 シミュレーション方法

本論文で採用したシミュレーション方法は、乱数発生によるモンテカルロ法を用いている。

##### 3.1.1 シミュレーション・モデル

図1に示したようなモデルにおいて、次のような統計的な性質を仮定する。

- 各計算機の処理時間
  - ホスト計算機+ホストデータベース：平均  $T_h$  秒の指数分布
  - モバイルサポートサーバ+セルデータベース：平均  $T_c$  秒の指数分布
  - モバイルユニット：平均  $T_u$  秒の指数分布
- ホストデータベース格納
  - 格納ブロック数：一様分布
- ホストデータベースアクセスパターン
  - 種類：read
  - 局所性無し：等確率  $1/B_h$ 、但し  $B_h$  は総ブロック数。
  - 局所性有り：指数分布。
- モバイルサポートサーバ動作
  - モバイルユニット応答待ち時間：平均  $T_w$  秒の指数分布
  - 時間制約：一定
  - セルデータベースのブロック再配置：LRU<sup>1</sup>法
- モバイルユニット動作

- 出発セルの決定：等確率  $1/N$ 、但し  $N$  は総セル数。
- 移動先セルの決定（移動するセル個数の変化量）：平均  $C_m$  個の指数分布
- セルのトポロジー：リング構造
- セル間を移動するモバイルユニット個数：システム全体でただ1個。
- 1セル内での移動距離：一様分布
- 移動速度：一定

##### 3.1.2 入力パラメータ

また、次のようなパラメータを外部から指定する。

- システム構成
  - ホストデータベース最大記憶可能容量： $hostdbsize$ (GByte)
  - セルデータベース最大記憶可能容量： $celldbsize$ (MByte)
  - セルの個数： $N$  (個)
- 各計算機の平均処理時間
  - ホスト計算機+ホストデータベース： $T_h$  (秒)
  - モバイルサポートサーバ+セルデータベース： $T_c$  (秒)
  - モバイルユニット： $T_u$  (秒)
- モバイルサポートサーバ
  - セル内最大移動距離： $distance$ (Km)
  - 時間制約時間： $timecnstrnt$  (秒)
  - 平均モバイルユニット応答待ち時間： $T_w$  (秒)
- モバイルユニット
  - 平均移動セル個数： $C_m$  (個)
  - 移動速度： $muspeed$ (Km/h)
- データ通信速度
  - ホスト計算機とモバイルサポートサーバ間の有線通信速度： $comline$ (Kbps)
  - モバイルサポートサーバとモバイルユニット間の無線通信速度： $wireless$ (bps)
- データベースブロック
  - ブロック長： $blocksize$ (KByte)

<sup>1</sup>Least Recently Used

表 1: 入力パラメータ値

変数名	値
<i>hostdbsize</i>	1(GByte)
<i>celldbsize</i>	50(MByte)
<i>N</i>	12 (個)
<i>T<sub>h</sub></i>	1 (秒)
<i>T<sub>c</sub></i>	10 (秒)
<i>T<sub>u</sub></i>	5 (秒)
<i>distance</i>	80(Km)
<i>timecnstrnt</i>	60 (秒)
<i>T<sub>w</sub></i>	60 (秒)
<i>C<sub>m</sub></i>	4 (個)
<i>muspeed</i>	80(Km/h)
<i>comline</i>	64(Kbps)
<i>wireless</i>	9600(bps)
<i>blocksize</i>	4(KByte)
<i>hostmtime</i>	10 (ミリ秒)
<i>cellmtime</i>	50 (ミリ秒)
<i>mblock</i>	256 (個)
<i>loop</i>	500 (回)

- 1 ブロック当たりの平均処理時間 (ホストデータベース) : *hostmtime* (ミリ秒)
- 1 ブロック当たりの平均処理時間 (セルデータベース) : *cellmtime* (ミリ秒)

● アクセス局所性

- 局所化したブロックの平均個数 : *mblock* (個)

● データベースアクセス回数 : *loop* (回)

### 3.2 シミュレーション結果

本論文では、表 1 に示すようなパラメータを指定してシミュレーションした。

#### 3.2.1 データ通信速度 (局所性無し)

2.3 節に述べたデータベースキャッシュ管理方式の各々に対して、パラメータ *wireless* を変化させた場合の平均データベース・アクセス時間とデータベースキャッシュの平均ヒット率の測定結果を、各々表 2 と表 3 に示す。

考察 1 モバイルサポートサーバとモバイルユニット間の無線通信速度は、平均データベース・アクセス時間にインパクトを与える (表 2)。

考察 2 モバイルサポートサーバとモバイルユニット間の無線通信速度は、データベース

表 2: 平均データベースアクセス時間 (h)

<i>wireless</i>	自セル	全セル	隣接セル
2400(bps)	5.1	4.2	4.4
4800(bps)	4.9	4.0	4.4
9600(bps)	4.8	3.9	4.1
19200(bps)	4.7	3.8	4.0
38400(bps)	4.7	3.8	4.0

表 3: データベースキャッシュの平均ヒット率 (%)

<i>wireless</i>	自セル	全セル	隣接セル
2400(bps)	0.0007	0.002	0.003
4800(bps)	0.0007	0.002	0.003
9600(bps)	0.0007	0.002	0.003
19200(bps)	0.0007	0.002	0.003
38400(bps)	0.0007	0.002	0.003

キャッシュの平均ヒット率にインパクトを与えない (表 3)。

#### 3.2.2 時間制約 (局所性無し)

2.3 節に述べたデータベースキャッシュ管理方式の各々に対して、パラメータ *timecnstrnt* を変化させた場合の平均データベース・アクセス時間とデータベースキャッシュの平均ヒット率の測定結果を、各々表 4 と表 5 に示す。

考察 3 時間制約時間は、平均データベース・アクセス時間にインパクトを与える (表 4)。

考察 4 時間制約時間は、データベースキャッシュの平均ヒット率にもインパクトを与える (表 5)。

#### 3.2.3 平均移動セル個数 (局所性無し)

2.3 節に述べたデータベースキャッシュ管理方式の各々に対して、パラメータ *C<sub>m</sub>* を変化させた場合の平均データベース・アクセス時間とデータベースキャッシュの平均ヒット率の測定

表 4: 平均データベースアクセス時間 (h)

<i>timecnstrnt</i>	自セル	全セル	隣接セル
20 (秒)	5.7	4.3	4.8
30 (秒)	5.4	4.1	4.6
60 (秒)	4.8	3.9	4.1
120 (秒)	3.3	2.7	3.0
180 (秒)	3.0	2.7	2.8
300 (秒)	2.9	2.7	2.8

表 5: データベースキャッシュの平均ヒット率 (%)

timecnstrnt	自セル	全セル	隣接セル
20 (秒)	0.0011	0.0031	0.0033
30 (秒)	0.0008	0.0028	0.0027
60 (秒)	0.0007	0.0022	0.0026
120 (秒)	0.0008	0.0016	0.0018
180 (秒)	0.0011	0.0011	0.0013
300 (秒)	0.0008	0.0007	0.0008

表 6: 平均データベースアクセス時間 (h)

$C_m$	自セル	全セル	1セル置き	2セル置き	3セル置き
2	4.8	3.9	2.5	1.9	1.6
3	5.2	4.2	2.3	2.1	1.5
4	5.3	4.4	2.4	2.4	1.7

結果を、各々表 6 と表 7 に示す。

考察 5 平均移動セル個数は、平均データベースアクセス時間にインパクトを与える (表 6)。

考察 6 平均移動セル個数は、データベースキャッシュの平均ヒット率にもインパクトを与える (表 7)。

### 3.2.4 データベース局所容量 (局所性有り)

2.3節に述べたデータベースキャッシュ管理方式の各々に対して、パラメータ  $mblock$  を変化した場合の平均データベースアクセス時間とデータベースキャッシュの平均ヒット率の測定結果を、各々表 8 と表 9 に示す。

考察 7 データベース局所容量は、平均データベースアクセス時間にインパクトを与える (表 8)

考察 8 データベース局所容量は、データベースキャッシュの平均ヒット率にもインパクトを与える (表 9)。

表 7: データベースキャッシュの平均ヒット率 (%)

$C_m$	自セル	全セル	1セル置き	2セル置き	3セル置き
2	0.0009	0.0022	0.0020	0.0023	0.0016
3	0.0010	0.0022	0.0023	0.0023	0.0022
4	0.0012	0.0023	0.0023	0.0021	0.0021

表 8: 平均データベースアクセス時間 (h)

$mblock$	自セル	全セル	隣接セル
256(KByte)	1.4	0.8	1.0
512(KByte)	1.4	0.8	0.9
1024(KByte)	1.4	0.7	1.0
2048(KByte)	1.8	0.8	1.2
4096(KByte)	2.2	0.9	1.5

表 9: データベースキャッシュの平均ヒット率 (%)

$mblock$	自セル	全セル	隣接セル
256(KByte)	0.46	0.48	0.48
512(KByte)	0.34	0.33	0.35
1024(KByte)	0.22	0.22	0.23
2048(KByte)	0.12	0.13	0.13
4096(KByte)	0.06	0.07	0.07

### 3.2.5 平均移動セル個数 (局所性有り)

2.3節に述べたデータベースキャッシュ管理方式の各々に対して、パラメータ  $C_m$  を変化した場合の平均データベースアクセス時間とデータベースキャッシュの平均ヒット率の測定結果を、各々表 10 と表 11 に示す。

考察 9 平均移動セル個数は、平均データベースアクセス時間にインパクトを与えない (表 10)。

考察 10 平均移動セル個数は、データベースキャッシュの平均ヒット率にもインパクトを与えない (表 11)。

考察 11 自セル、全セル、隣接セルの各々のキャッシュ管理方式には優位差が見られる (表 2,3,4,5,8,9)。

考察 12 自セル、全セル、1セル置き、2セル置き、3セル置きの各々のキャッシュ管理方式にも優位差が見られる (表 6,7,10,11)。

表 10: 平均データベースアクセス時間 (h)

$C_m$	自セル	全セル	1セル置き	2セル置き	3セル置き
2	1.6	0.7	0.6	0.7	0.6
3	1.6	0.8	0.7	0.7	0.7
4	1.7	1.0	0.9	0.8	0.9

表 11: データベースキャッシュの平均ヒット率 (%)

$C_m$	自セル	全セル	1セル置き	2セル置き	3セル置き
2	0.21	0.18	0.18	0.18	0.18
3	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17

#### 4 おわりに

本論文ではモバイルコンピューティング環境において、無線携帯型コンピュータが複数セル間を移動しながらホストデータベースをアクセスするときセル間でシームレスなデータベースアクセスを保証するための時間制約付きデータベースシステムを提案した。次に、その携帯型コンピュータが複数セル間を移動しながらホストデータベースをアクセスするときのデータベースキャッシュ管理方式も5種類提案した。最後に、各々のキャッシュ管理下での平均データベースアクセス時間やセルデータベースのヒット率をシミュレーションにより定量的に測定して比較評価し、本論文にて提案したデータベースキャッシュ管理方式が有効であることを示した。因みに、このシミュレーションプログラムはC言語で記述し、総ステップ数は約10K行である。

今後の研究課題としては複数モバイルユニットの同時移動の問題などが考えられる。

## 参考文献

- [Alon93] Alonso, R.  
*Database System Issues in Nomadic Computing.*  
Proc. of ACM SIGMOD 93, pp.388-392, May 1993.
- [Barb94] Barbara, D. and Imielinski, T.  
*Sleepers and Workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments.*  
Proc. of ACM SIGMOD 94, pp.1-12, May 1994.
- [Huan94-1] Huang, Y., Sistla, P. and Wolfson, O.  
*Data Replication for Mobile Computers.*  
Proc. of ACM SIGMOD 94, pp.13-24, May 1994.
- [Huan94-2] Huang, Y. and Wolfson, O.  
*Object Allocation in Distributed Databases and Mobile Computers.*  
IEEE Proc. of the 10th DE'94, pp.20-29, 1994.
- [Imie92] Imielinski, T. and Badrinath, B. R.  
*Querying in Highly Mobile Distributed Environments.*  
Proc. of the 18th VLDB, pp.41-52, 1992.
- [Imie93] Imielinski, T. and Badrinath, B. R.  
*Data Management for Mobile Computing.*  
ACM SIGMOD RECORD, Vol.22, No.1, pp.34-39, March 1993.
- [Imie94-1] Imielinski, T. and Viswanathan, S.  
*Adaptive Wireless Information System.*  
情報処理学会他 第100回データベースシステム研究会 記念合同研究会 資料 pp.19-41 (1994年10月).
- [Imie94-2] Imielinski, T. and Badrinath, B. R.  
*Mobile Wireless Computing.*  
Comm. of ACM, pp.18-28, Oct. 1994.
- [Imie94-3] Imielinski, T., Viswanathan, S. and Badrinath, B. R.  
*Energy Efficient Indexing on Air.*  
Proc. of ACM SIGMOD 94, pp.25-36, May 1994.
- [上林 95] 上林 弥彦、早瀬 道芳.  
移動分散データベースにおける質問処理.  
電子情報通信学会 データ工学研究会 技術研究報告 DE95-28 (1995年7月).
- [Lai95] Lai, S. J., Zaslavsky, A., Martin, G. P. and Yeo, L. H.  
*Cost Efficient Adaptive Protocol with Buffering for Advanced Mobile Database Applications.*  
Proc. of the 4th DASFAA'95, pp.87-94, April 1995.
- [仲秋 95] 仲秋 朗、劉 湧江、塚本 昌彦、西尾 章治郎.  
移動データベース環境におけるセル指定ビューの維持方法.  
情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理研究会資料 pp.175-180 (1995年7月).
- [白井 95] 白井 博章、仲秋 朗、劉 湧江、塚本 昌彦、西尾 章治郎.  
移動型データベースのためのビュー機構の設計および実装.  
電子情報通信学会 データ工学研究会 技術研究報告 DE95-27 (1995年7月).
- [和田 95] 和田 雄次、水野 忠則.  
モバイルコンピューティング環境における時間制約付きデータベースシステムの性能評価.  
情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理研究会資料 pp.19-24 (1995年7月).