

## 大規模サーバ群の負荷予報システムの構築に向けて

株式会社アイ・アイ・エム 技術部 塩川 孝雄

サーバ群全体の過去の負荷傾向より、今後1年以内の負荷を予測して関係者へ早期に異常情報を提供する汎用的な負荷予報システムの構築を志向する。

運用経験の豊富なシステム運用管理者は、長期の稼働データを俯瞰することにより、安定した稼働期間を基本として、異常な負荷や近時点の負荷をある程度見究めることができる。この経験則手法を模擬して各種の異なる負荷傾向のサーバを一元的に扱い、一定の予測精度が得られる統計的なプロセスを提案し、モデルシステムによりその汎用性を検証する。

### For the building of the load forecasting system for the large-scale server cluster

Takao Shiokawa, Engineering Department, IIM Corporation

I aspire to build the versatile load forecast system that can predict the future loads of server cluster over the next year from the load trend in the past. It will provide all the parties concerned the information of system malfunction in the future preliminarily.

Expert system administrators, who gain long experience in system operation, can predict short-term loads or abnormal loads to some degree, using the behavior of load profile in stable phase as a yardstick. They have learned it through the bird's-eye analysis of the long-term operation data. By emulating their empirical rules, I propose a statistic process to predict the future load of the each server in a cluster with a same degree of accuracy for their different characteristic features. I tested it's general versatility by adhibition to the operation data collected from a real cluster.

#### 1. はじめに

大型の汎用コンピュータシステムと異なり、サーバ系システムは新規ならびに既存業務システムの拡大に伴い、サーバ台数が飛躍的に増加していく傾向にある。

そのため、サーバ個々の負荷予測に多大な労力を要し、管理担当者の技術レベル差による予測誤差も生じ易く、関係者間の共有情報となり難くなっている。それに併せて、サーバ負荷の異常を事前に把握し、未然防止を図ることが益々困難な状況にあると思われる。

この一方策として、これまでに長期稼働データによる負荷推移のパターン分類や近似線による負荷予測手法を検討した。今後は更に、関係者間での早期の負荷情報の共有を目的として、汎用化された負荷予報システムが必要と思われる。

このため、特に近時点の負荷異常の未然防止に焦点を当て、予報システムの構築に必要とする「多様な負荷推移を一元的に扱える予測プロセス」をモデルシステムで検証し、プロセスの的確化を試みた。

その負荷予測の方法は、システム運用管理者が稼働データを俯瞰して継続している負荷傾向を想定し、予測する方法を応用することとした。それは、運用経験則による複数の「傾向変化の判定方法」を適用し、最適な負荷傾向を見極める方法である。これにより、負荷傾向の変化点(時期)の検出の成否に大きく左右されることなく、予測精度を上げることが出来た。

また、負荷予報システムとして、「予測精度の判定方法」や「問題サーバ順の予報表示」など一連のプロセスの汎用化も併せて試行した。それは、単に負荷増などの警報表示だけでなく、「予測精度の悪さ加減」や「過去の予測値との差」などの、いわゆる「不確実な情報」についても早期に共有化を可能とするためである。

#### 2. 負荷予報システムの概要

負荷予報システムは、3年程度蓄積された長期の稼働データのCPU使用率を対象とし、その負荷予報は定期的な間隔(月または週)で行われるものと想定している。

## (1) サーバ負荷推移の特徴

サーバ負荷の推移には「長期漸増型」、「短期急増型」、「一定負荷型」、「過去高負荷型」および「年周period型」などのパターンがある。その他に「上・下降」、「急速な増減」、「途中の増減」、「至近の変化」、「尖鋭・平坦な周期」、「直線・指数的」など様々な負荷傾向が存在する。

このため、一元的な負荷予測を行う方法として、全サーバの負荷を一律に「周期と幅を持ちながら指数的に増加する変化形」と仮定して、「周期」「方向」および「バラつき」の3つの要素に焦点を合せて取り扱うこととした。

そこで、運用経験則によるサーバ負荷推移の特徴を上記3つの要素で考察し、その結果を「予測プロセス」へ反映させている。

### a. 周期性

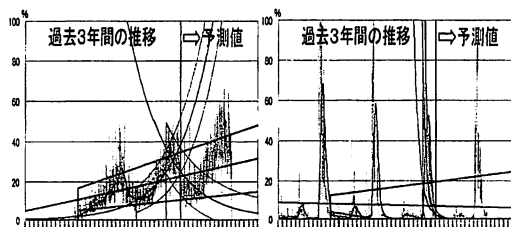
サーバの負荷の推移は基本的に年、半年、四半期、月、週および日の周期性を有している。

年周期性には、短期間に高負荷となる「尖鋭的な周期」、および年間を通して緩やかに推移する「平坦な周期」がある。この年周期性の特徴が大きく現れる場合は、その振幅が予測の精度に大きな影響を与えるため無視できない状況となる。

このため、年周期性のある負荷予測では、一定の予測精度となるよう工夫する必要がある。(3項に後述)

しかし、使用する稼働データの期間が十分であっても、半年以下の周期を実際に再現して予測しようとする、計算が複雑になり、予測精度の面から現実的ではないと思われる。

以上から、年周期を除いた半年以下の周期については、本項cの「バラつき」の一部として、近似線による予測に $2\sigma$ の近似線を併記する方法とした。図-1はこれらを反映した予報グラフの例である。



(図-1)

### b. 方向性

一般にサーバ負荷は、ランダムなトランザクションにより指数的に増加する傾向がある。

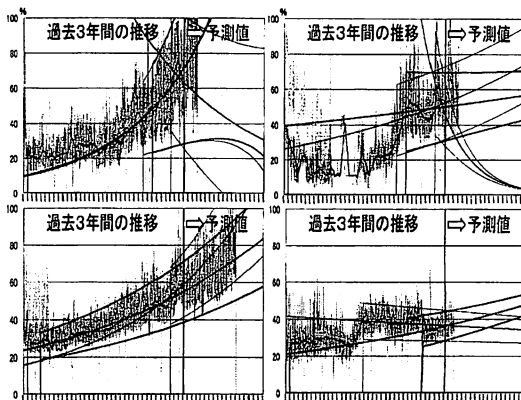
しかし、実際には多様な負荷推移が存在することから指数近似のほかに直線近似や2次式近似線の適用も考えられる。

一方、負荷傾向の変化要因には、システムの本格稼働開始、処理対象範囲の拡大、システム改善および設備増強などがある。自動負荷予測では、これらの変化点を判断して、それ以降の安定した負荷傾向により予測するが、この「変化点の検出」と「近似線の選択」の適否が予測精度に大きく影響する。(3項に後述)

稼働データには、短期間のデータや定常負荷とは異なる突発的な高・低負荷データが数多く存在する。これらは、何らかの障害か、バックアップ処理、プログラム保守などが多く、予測データとして扱えるよう前後のデータにより整形しているが、不可能な場合は対象から外している。(3項に後述)

また、長期間続いた負荷傾向は将来も長く続くと考えられるが、負荷予測の場合は、過去の継続期間長の半分程度を想定して予報することが無難である。

図-2は以上を踏まえて予測した予報グラフの例である。



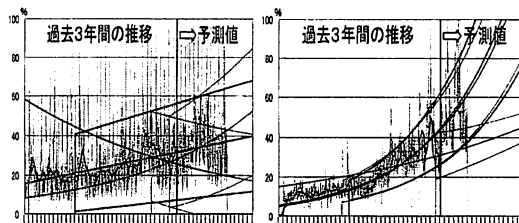
(図-2)

### c. バラつき

負荷のバラつきの度合いである変動幅は、高負荷になるほど増大する傾向がある。

ピーク負荷の取り扱いには困難を伴うが、一定の予測精度が確保される期間では、この傾向を利用して、負荷傾向に沿ってバラつきを展開し、ピーク負荷をバラつきの一部として表示する方法をとった。

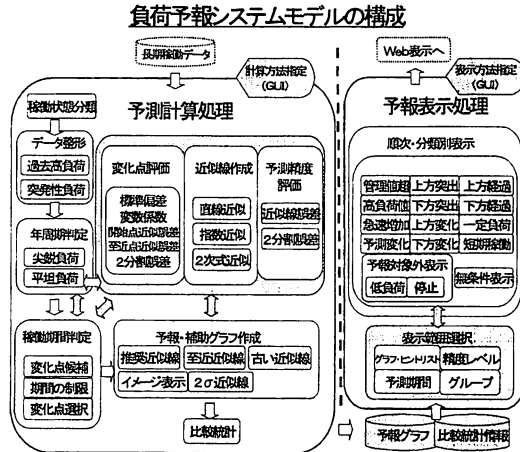
負荷のバラつきによるピーク負荷の増大傾向をイメージで表示する予報グラフの例を図-3に示した。



(図-3)

## (2) モデルシステムの構成

以上の負荷推移の特徴を踏まえて、予測プロセスの汎用性を検証するための、負荷予報システムのモデルを、図-4の通り「予測計算処理」および「予報表示処理」に分けて構成した。



(図-4)

### a. 予測計算処理

まず、稼働データの欠落期間の有無に関わらず対象とする期間長を固定化（3年間）して、月移動平均データを基に計算処理を行った。

そして、予測計算処理は、サーバ単位に「稼働状態の分類」、「データの整形」、「年周期の判定」、「稼働期間の判定」、「予測・補助グラフ作成」および「比較統計」の各プロセス順に行うことにした。

この際、「変化点の評価」、「近似線の作成」および「予測精度の評価」の3つの共通プロセスを繰り返し使用し、結果をフィードバックしながら最適な判定方法を採用して、近似線を作成する。

その近似線は次の3つの変化点（時期）以降から至近（現在）までのデータの最小二乗法により求めた。

- ① 至近変化点：至近で変化したと思われる時期
- ② 推奨変化点：現在の傾向が開始した時期
- ③ 古い変化点：推奨変化点より前に変化した時期

これにより、負荷予測グラフおよび比較統計情報を出力する。

### b. 予報表示処理

GUIでの表示方法の設定に基づき、予報グラフおよびコメントリストの作成を「管理値越え」、「高負荷値」、「急速増加」および「予測変化」の各傾向の高い順に整理して警報表示する。

また、注意表示として「上方突出」、「下方突出」、「上方変化」、「下方変化」、注視表示として「上方経過」、「下

方経過」、「短期稼働」を各傾向の高い順に表示する。

## 3. 予報システムの検証

### (1) 各予測計算プロセスの検証

次に、各プロセスをどのように動作させるべきか、サーバ500台におよぶテストデータにより試行して得られた各プロセスの必要機能および考慮点について述べる。

試行する上での予測シナリオとしてオンライン時間帯を想定したCPU使用率の1時間平均×6ポイント/日（土・日を除く）の稼働データを使用した。

稼働データは3年間の固定長を全てメモリー内の配列上で操作することにより、繰り返し計算での高速性を確保した。これによる予測計算速度はデータ取り込みから予報グラフの出力まで1サーバ当たり5秒程度であった。

#### a. 稼働状態の分類

負荷傾向の予測を困難にする、ループ負荷や低負荷、至近時点での停止および立ち上がり後の短期間（3ヶ月程度）のサーバを負荷予測計算の対象外として分類する。

#### b. データの整形

採取されていない欠損値およびゼロ値は予測結果に影響のない程度の低値に置き換え、更に予測に向かない次のようなデータは、前後の稼働データにより整形する必要がある。

- ① システム保守やデータベースの一括セーブなど、システム運用上の理由による異常な高負荷
- ② 土日、休祭日における極端な低負荷
- ③ 負荷改善対策などで既に改善された過去の高負荷状態（改善後の負荷値で整形）

また、各種の判定根拠は、運用経験則に基づき外部からのパラメータにより設定することとした。このデータ整形対象負荷の判定に使用したパラメータ設定の例を図-5に示す。

異常負荷・過去高負荷データの整形			
異常高負荷(前月比:倍以上)	3	過去短期負荷(3ヶ月間:倍以上)	1.5
同上条件(該当値:%以上)	40	同上条件(削減月負荷:%以上)	20
異常低負荷(前月比:倍以下)	0.3	長期整形(過去全6ヶ月間:倍以上)	2
		同上条件(削減月負荷:%以上)	10

(図-5)

#### c. 年周期性の判定

予測計算プロセスの汎用化を図るうえで重要な考慮点として、予測計算に先駆けて、年周期性の有無の判定を優先させることが必要である。その判定順序は次によ

り行う。

- ① 先鋭的な年周期性の判定（一次判定）
- ② 平坦な年周期性の判定（二次判定）
- ③ 年周期の予測計算（仮計算）
- ④ 予測精度の判定（精度一定以上で年周期へ）

このなかで、先鋭的な年周期と平坦な年周期の判定では、それぞれの負荷推移の特徴に合う別の設定値を使用

年周期の判定値	一次	二次
高負荷区間前年比(倍以下)	3	1.2
低負荷区間前年比(倍以下)	3	1.2
高低負荷区間比(倍以上)	1.5	1.1
高負荷区間CPU使用率(%以上)	5	10
高負荷区間変動係数(%以上)	10	10

(図-6)

して判定を行うが、その設定の例を図-6に示す。

この際、平坦な年周期の判定では年周期性の傾向を正しく取り出すため、近似線を仮作成（次のd.稼働期間の判定に後述）して負荷の増減傾向を考慮して行う。

そして、年周期性の有無の最終判定として、予測精度の判定を2分割比較誤差（本項（2）に後述）の方法で行い、一定の精度以上の場合に年周期性があると判定する。精度が悪い場合は、周期性がないとしてフィードバックし予測計算をやり直す必要がある。

なお、年周期の最終的な近似線作成は、2年に満たない期間の場合は、他の前年比較できる期間を使用して補正する。また、ピークの発生時期に影響されないよう年平均比により近似線を作成する必要がある。

#### d. 稼働期間の判定

運用経験則に基づく幾つかのパラメータの設定と検出方法を組み合わせて、変化点の候補を絞り込み、一定の傾向にある稼働期間を判定する方法をとる。

稼働期間の判定は、「平坦な年周期」の判定前に比較的長期の近似線を仮作成するための判定（一次判定）、および年周期性がないと判定した後の判定（二次判定）の2回行う必要がある。

この稼働期間の判定は次の順序により行う。

- ① 変化点候補の検出
- ② 判定期間の制限
- ③ 変化点の評価計算
- ④ 変化点の選択

上記①の一次、二次の判定ではそれぞれ別の設定値により変化点候補を検出する。また、至近での負荷変化に敏感である必要から、至近3ヵ月程度は短期間判定が可能な設定値を使用する。これらにより、多数検出された変化点は一定期間の間隔（例えば3ヵ月）で更に絞る必要がある。

図-7に、変化点候補の検出で使用する判定項目と設

定例を示す。

推奨変化点の判定値	一次	二次
短期稼働内増(前月対2週間:倍)	3	3
短期稼働期間内減(同上)	0.3	0.3
急速増(前後1ヵ月:倍)	2	1.2
急速減(同上)	0.5	0.8
緩な増(前後3ヵ月:倍)	2	1.1
緩な減少(同上)	0.5	0.9
同上条件(増減値:%以上)	20	5
(減少値:%以上)	20	5
短期稼働内変動増(前月対2週間:倍)	5	3
短期稼働内変動増(同上)	0.2	0.3
急速変動増(前後1ヵ月:倍)	5	2
急速変動減(同上)	0.2	0.5
緩な変動増(前後3ヵ月:倍以上)	5	1.5
緩な変動減少(同上)	0.2	0.7
同上条件(増減前:%以上)	5	10
(減少前:%以上)	20	20

(図-7)

上記③の変化点の評価計算では、各種の方法が考えられるため、本項（2）で後述する。

上記④では、最も点数の高い変化点を推奨変化点とする。また、至近変化点は点数に関係なく最も至近の変化点候補を選択し、推奨変化点より過去で最も高い点数を古い変化点とする。

#### e. 予測および補助グラフの作成

推奨、至近および古い変化点からそれぞれ近似線を作成して負荷予測を行う。

この他に、負荷情報として各種の補助グラフを作成し、実際に約50項目について表示を試みたが処理時間への影響はなかった。

#### f. 比較統計

上記eの推奨の近似線を基準にして、他の近似線や補助グラフと比較することにより、最近の負荷が上昇か、下降かなどのヒント項目を作成することが出来る。

試行では、ヒントの基データ約100項目の作成を行った。例えば、推奨近似3ヵ月後平均、至近近似1ヵ月後平均、推奨予測2σ（70%）超え日、推奨予測1ヵ月後増加、1ヵ月前予測誤差および3ヵ月前予測誤差などである。

このヒントにより、予報表示処理では、他サーバとの横並び比較を行い、予測精度の悪化加減や過去の予測値との差などの予測精度の悪いサーバ順に予報表示することができた。

#### (2) 共通プロセスの構築における考察

予測計算の共通プロセスである「変化点の評価」、「近

上記②では、サーバの新規稼働開始後の「試験期間」や負荷予測に必要な「最低稼働期間」などの制限値を設定する。これらは、負荷予報システムとして不要な予報を出力しないための配慮である。

似線の作成) および「予測精度の評価」については各種の方法が考えられるので、テストデータにより試行し汎用性について比較検討した。以下に、共通プロセスにおける、これらの方法を比較して考察する。

### a. 変化点の評価

各変化点の候補に点数付けをする方法について基本形5つとその組み合わせについて試行した。

この結果、以下の通りvi④の「変動係数」と「2分割近似誤差」の組み合わせによる方法が最も汎用性が高いことを確認した。なお、この方法は短期間を選択して確実な予測をするのに向いているが、より長期の傾向を予測したい場合は、「採用する期間の年数」と「変化点候補の年換算数」を加重する必要がある。

#### i. 標準偏差

変化点から至近点までの標準偏差を求め、最も小さい値を示す点から推奨近似線の作成を開始する方法である。

負荷推移は高負荷になるに従いバラつき度合いが増加し、標準偏差値も大きくなっていく。このため、この方法は、サーバの稼働開始当初などの低負荷を選択しやすく、長期間を選択し過ぎる傾向がある。

#### ii. 変動係数

上記の標準偏差値を平均値で割った変動係数を使用することにより、負荷の高低に無関係に一律に変化を検出し易い方法である。

この方法は、著しい低い負荷や負荷変動を過剰に検出しやすく、短期間の判定になり易い傾向にある。しかし、次の2分割比較誤差の方法とともに、安定した負荷傾向の期間を選びやすい。

#### iii. 2分割比較誤差

稼働データ期間を前半と後半に2分割してその間の面積誤差により判別する方法である。実際は近似線に沿って前半の負荷を後半へと、月移動平均負荷の大きさ比で展開して、平均誤差をとる。(本項(2)cで後述)

この方法は、他の方法に比べ最も少なめに採用期間を判定する傾向があるが、変動係数と共に的確に負荷を選びやすい。

#### iv. 至近点(現時点)近似線誤差

判定する変化点を固定し、至近点から1ヵ月引いた短い期間長で1本目の近似線を作成し、更に1ヵ月引いた期間で2本目を作成する。そして、基の近似線も含む3本全体の至近点での誤差幅を求め、その誤差幅が最も小さい値となる変化点を推奨近似線の開始点とする方法である。(本項(2)cで後述)

この方法は、途中の変化を無視し易く、長期間の稼働データを選択する傾向がある。

#### v. 開始点(変化点)近似線誤差

至近点近似線誤差を変化点に応用する例である。

但し、上記ivの方法と異なり、至近を固定し、判定する変化点から過去の方に引きながら近似線を作成する。そして、最も大きい誤差が発生する変化点を採用して推奨近似線の開始点とする。

しかし、この方法も、ivと同様に途中の変化を無視し易く、長期間の稼働データを選択する傾向がある。

#### vi. 複数方法の組み合わせ

上記のなかから複数の方法を組み合わせることで変化点を判定することにより、汎用性をより確保できる幾つかのケースがある。

- ① 開始点近似線誤差と標準偏差: 途中変化加味時
- ② 開始点近似線誤差と変動係数: 低負荷の判定時
- ③ 開始点近似線誤差と2分割誤差: 途中経過反映時
- ④ 変動係数と2分割誤差: 高・低負荷共安定判定時

### b. 近似線の作成

直線、指数および2次式による近似線と、その組み合わせ、および自動選択の方式について試行した結果、下記の通りvの「近似線の自動選択」による方法が汎用性の面で優れていることを確認した。

#### i. 直線近似線 ( $y = a + b \cdot x$ による回帰直線)

至近での変動が大きい場合も予測が安定しているが、下降方向の予測では負荷が負になることがある。

#### ii. 指数近似曲線 ( $y = a \cdot e^{b \cdot x}$ による回帰曲線)

変化方向を強調しやすいが、問題サーバを早期に見るには良いと思われる。増加傾向にある負荷推移は指数曲線で近似することが適確であると思われた。

#### iii. 2次式近似曲線 ( $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$ による回帰曲線)

短期の負荷で方向変化を検出するには向いているが、負荷の変化を強調しすぎる傾向にある。

#### iv. 組み合わせ固定選択

上昇傾向は直線、下降傾向は指数とすることで負にならないよう配慮できるので、単独使用より優れる。更に、稼働データが2年以上では指数近似、2年以下は直線近似、下降では指数近似とすることで、単独使用より優れる。

#### v. 近似線の自動選択

直線および指数近似曲線、両者の予測計算をして、予測精度の結果をフィードバックし、優れた方の近似線を使用する方法である。しかし、下降傾向は無条件で指数近似とする。

上記の近似線のなかでは最も汎用性が優れている。

### c. 予測精度の評価

予測精度の評価では、変化点の評価で述べた「2分割

比較誤差」と「至近点近似線誤差」の2つの評価方法を試行した。

予測の精度は、各近似線間の誤差分をシステム全体の性能100%から除いた値として考えられる。これにより、レベル表現の計算は、100%から誤差を引いた値として、99%以上をレベル1、95%以上をレベル2などと、1から5レベルに分類した。

i. 2分割比較誤差

この方法は、過去のデータが同一の近似線にのって推移していれば、将来も同じ近似線にのるのであると仮定した評価方法である。

但し、この評価では、周期性を考慮する必要がある。変化点の候補点よりも至近（現在）に近い2年、1年、半年、4ヶ月、2ヶ月となる短いデータ期間を使用する。これを2分割して年、半年、四半期、2ヶ月、月の各周期を考慮する。

この予測では、10%以下の差でほぼ予測可能な負荷推移が得られたと思われる。

特に年周期性の負荷推移の予測では、次に述べる至近近似線誤差での判定が向かないことから、この方法を適用する必要があった。

ii. 至近点近似線誤差

この方法は、至近と過去の時点で作成した近似線との誤差がなければ、将来も同じ近似線にのるのであると仮定した評価方法である。

実際は、負荷推移の年周期性と至近での変化を考慮して、1ヵ月ずつ引く方法の他に、周期性を考慮して2ヵ月、四半期（3ヶ月）および半年ずつ引く方法を加え、このなかで最も誤差の少ない値により予測精度を判定することとした。

この方法では、誤差が5%以下でほぼ予測可能とみてよい負荷推移と思われた。

(3) 予報表示出力

予測計算処理の出力である予報グラフおよび比較統計情報を基に、全サーバから問題のある可能性が高い順番に、短時間で重複せずに予報表示する方法を試みた。

図-8にモデルシステムで試行したG U I画面の例を示す。

約500台の全サーバを対象に連続選択表示を試行したが、計算結果出力時にExcel™をG I Fに変換したことで、予測根拠が分かるよう工夫したグラフにおいても表示速度に問題はなかった。

なお、今回の検証に使用したパソコンの構成は4 C P U、2 G H Z、5 2 4 M B R A M、使用した開発ソフトはV B . N E T™ (約7, 0 0 0行をコーディング)

およびExcel2000™である。

警告					
<input type="checkbox"/>	管理値超	管理値超え予測期日が近い	5	出	台
<input type="checkbox"/>	高負荷値	今後(指定期間)は高い負荷になる	2	出	台
<input type="checkbox"/>	急速増加	今後(指定期間)は急速に増加する	2	出	台
<input type="checkbox"/>	予測変化	過去(指定期間)の予測差が大きい	5	出	台
注意					
<input type="checkbox"/>	上方突出	最近は上方への突出傾向が強い	2	出	台
<input type="checkbox"/>	下方突出	最近は下方への突出傾向が強い	2	出	台
<input type="checkbox"/>	上方変化	最近は上方への変化傾向が強い	1	出	台
<input type="checkbox"/>	下方変化	最近は下方への変化傾向が強い	1	出	台
注視					
<input type="checkbox"/>	上方経過	過去に上方へ大きく変化した	1	出	台
<input type="checkbox"/>	下方経過	過去に下方へ大きく変化した	1	出	台
<input type="checkbox"/>	一定負荷	現在一定負荷(ループ?)である	5	出	台
<input type="checkbox"/>	短期稼働	稼働後の期間(指定期間)が短い	5	出	台

(図-8)

4. おわりに

コンプライアンス経営への関心、個人情報保護法、I T I Lそして日本版S O X法(金融商品取引法)へと情報システム部門は常に時代の最先端における課題への対応を迫られている。

その現場を担当するシステム運用管理部門は、常に量的な拡大とシステム環境の変化に追われ続け、筆者も後追の問題対応に長年追われ続けた。この運用改善への思いから、これまで机上の空論になりがちだった普遍的な課題である、異常負荷の未然防止に向けた負荷予測を、身近な現場に密着した運用経験に基づく知識を活用して行えないか模索していた。

その結果、運用経験則によるパラメータ設定および共通プロセスによるフィードバック計算の繰り返しにより、負荷傾向を統計的に俯瞰する方法を用いることに思い至った。これにより、一定の有効な予測精度の確保と汎用性のあるエキスパートツールとしての負荷予報システム構築の可能性が確認できた。

今後更に多くの複雑な運用経験則を導いていけば、膨大なサーバを抱え錯綜する運用現場にとって、より有用な方法になるものと思われる。

参考文献

- i. 基本統計学「有斐閣ブックス：宮川公男」
- ii. 基礎統計学「東京教学社：佐藤喜代蔵」
- iii. 統計グラフのウラオモテ「講談社：上田尚一」
- iv. 情報処理学会研究報告 2004-EVA-11「サーバ群の運用における自動負荷予測手法：塩川孝雄」