給水・給湯負荷の計測と時系列解析を用いた時間負荷変動の予測

集合住宅における給水負荷変動の予測に関する研究

A MEASUREMENT FOR LOAD OF HOT AND COLD WATER SUPPLY
AND A PREDICTING THE FLUCTUATION OF HOURLY DEMAND
OF WATER SUPPLY ACCORDING TO TIME SERIES ANALYSISA study on predicting the demand fluctuation of water supply
in apartment houses

長谷川 巖*, 市川 憲良**, 紀谷 文樹***

Iwao HASEGAWA, Noriyoshi ICHIKAWA and Fumitoshi KIYA

In these days, design of water supply system need high pressure water works on quality management for receiving tank in building. So it has been necessary for building management to forecast the change of water consumption in building. But, there are very few studies considering life cycle cost for water supply system in buildings.

In this paper, at first, the authors have investigated in detail for the loads of cold and hot water supply in apartment houses by using a new technics of measurment, and analyzed the demand fluctuations by specific use considering time span. Finally, time series models were identified and estimated, and then according to time series analysis, the hourly load profile were forecasted in each day.

Keywords: *technics of measurment, fluctuation of hourly demand, apartment houses, hot and cold water consumption for specific use, time series analysis*

計測手法、時間負荷変動、集合住宅、用途別使用水量・湯量、時系列解析

1. はじめに

現在、建築・地域レベルでの給排水衛生設備システムにおいては、水の有効利用を行うための排水再利用や雨水利用、多元給水等の技術が進行している。一方、水道側では、上水の汚染防止対策として、受水槽を介さないで給水する水道直結(増圧)給水システムが具現化している。このような状況の中で、建築内における給排水衛生設備計画及び維持管理を行う上では、需要者の水使用実態を継続的に把握するとともに、水使用行為の変化を時系列的にリアルタイムで予測出来るようなシステムを構築していく必要があると考えられる。

給排水衛生設備の負荷は、周期性などの時系列的な特性を有している。従って、継続的に計測を行い、これを基に時系列的な解析と予測を時間または分単位で行うことができれば、数日後、数時間後の負荷変動を予測することができ、建築内の水循環システムの適切な運転管理が可能になると考えられる。このように時系列を考慮した負荷変動の研究としては、従来、負荷算定法のための研究の一環として文献^{1)~4)}等が挙げられるが、これらは、実測時の負荷変動パターンや瞬時最大負荷を中心に解析したもの⁵⁾であり、負荷変動そのものから予測を行った例は少ない^{6) 7)}。

以上のような背景から、本研究は、まず集合住宅を対象に1秒毎のデータを、長期間(約1ヶ月程度)収録可能なデータログを開発

し、住棟全体及び住戸内用途別給水・給湯負荷を計測した。そして、そのうちの用途別の負荷変動の周期性を解析し、計測結果の時系列原データに基づく時系列予測モデルを構築し、給水の時間負荷変動の逐次予測を行った。これは、将来予測を可能とする負荷変動の予測手法を提案する第一段階であり、将来、給水給湯システムの動的負荷設計法確立に資することを目的とした。なお、計測は1秒毎の瞬時負荷まで行ったが、本報の解析では、1秒データ、1分データの積算値として求めた時間データによって行うこととし、瞬時負荷については別報でまとめることとする。

また、本報は後述する委員会の成果に基づき、文献^{7) 8) 9)}を中心に加筆・修正してまとめたものである。

2. 高層集合住宅における給水・給湯負荷変動の調査と計測

2-1. 調査対象建物と住戸規模

調査対象建物は、用途別給水・給湯負荷計測が可能な「さや管ヘッダー工法」を採用している、都市型集合住宅をイメージして都内中央区に建設された高層集合住宅を選定した。建物概要を表1に示す。住戸内の用途別給水・給湯負荷は、表2に示す住戸仕様の24住戸を対象に計測した。

* ㈱日建設計 修士(工学)

** 東京都立短期大学都市生活学科 教授・工博

*** 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻 教授・工博

Nikken Sekkei, M. Eng.

Prof., Dept. of Urban Life Science, Tokyo Metropolitan College, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

2-2. 計測時期と方法

計測の時期・期間は表3に示すとおりであり、冬期は約3週間、夏期は1ヶ月間にわたり計測した。なお、一部の住戸に関しては、住戸内の用途別給水・給湯負荷の冬期計測において、年末・年始のいわゆる特異データを得るために12月24日より計測を開始した。

計測用流量センサ及びデータ収録装置を表4に示す。これらは住棟全体、住戸内用途別データログのいずれも、小型で、各センサからの出力信号を1秒毎に約1ヶ月間収録可能のものである。

表1 調査対象建物概要

所在地	東京都中央区
種別	集合住宅（賃貸、入居開始：平成3年3月下旬）
階数	地上37階、地下1階
住戸数	460住戸（458住戸+特殊2住戸） （1DK：34住戸、1LDK：169住戸+1住戸、 2LDK：137住戸、3LDK：118住戸+1住戸）
規模	建築面積：1,409.1m ² 、延床面積：47,084.27m ² 平均住戸面積：68.60m ²
設備概要	給水設備（高置水槽方式） ・給水源：市水、引込み管100mm ・受水槽：160m ³ 、高置水槽：20m ³ 給湯設備（住棟セントラル方式、河川水熱源利用） 住戸内給水・給湯配管（さや管ヘッダー方式）

表2 計測対象住戸概要

住戸No.	住戸形式	面積[m ²]	居住人数[人]	給水系							給湯系						
				台所	浴室	洗面	洗濯	便所	手洗		台所	浴室	洗面	洗濯			
1	3LDK	82	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	3LDK	82	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	3LDK	72	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2LDK	72	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1LDK	72	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	3LDK	72	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1DK	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1LDK	44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	2LDK	63	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1LDK	82	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1DK	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1DK	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	3LDK	82	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	3LDK	82	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	2LDK	72	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	3LDK	82	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	2LDK	85	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1LDK	44	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	3LDK	72	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1LDK	62	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
*21	3LDK	90	5	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
22	1LDK	48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1LDK	44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1LDK	44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*：ミニキッチン付（ヘッダーにて独立で供給）

表3 計測時間・期間

	住棟全体		住戸内用途別*	
冬季	'93.1/ 8~1/31	24日間	'93.1/11~1/31	20日間
夏期	'93.7/ 1~7/31	31日間	'93.7/ 1~7/31	31日間

*：計測対象とした24住戸の同時計測時期

住棟全体の給水・給湯負荷の計測では、図1(a)・(b)に示すとおり、屋上の高置水槽および給湯高置水槽からの供給配管部(37階)に超音波流量計を設置し、各々1ch用データログに収録した。ただし、給湯負荷については、図1(b)に示すように、地下貯湯槽への給湯戻り管部に予め取り付けられていた電磁流量計からの出力信号も1ch用データログに取り込み、上部と下部の差から給湯負荷を算出した。またデータの収録に際して、超音波流量計及び電磁流量計の出力に250[Ω]の固定抵抗を接続し、1chデータログの入力電圧をDC1-5[V]に変換した。

住戸内の用途別給水・給湯負荷の計測では、図2に示す住戸内へ

表4 計測用センサ・データ収録装置概要

	住棟全体	住戸内用途別
流量計測用センサ	F社製・超音波流量計 ・応答速度：1sec~ ・出力信号：DC4-20mA 既設電磁流量計(返湯管) ・応答速度等：同上	I社製・流量センサ ・ND-10型 ・パルス定数：7.69cc/p ：デューティにて1sec毎の パルス数をカウント
データ収録装置	N社製・1chデータログ ・電源：単1アルカリ乾電池 2本	N社製・8chデータログ ・電源：単2アルカリ乾電池 3本

図1 住棟全体給水・給湯量の計測位置

図2 住戸内給水・給湯基本系統図

*給水：ポリブテン管 給湯：架橋ポリエチレン管

ッダー部に流量センサを取付けて計測したが、取付け作業等を容易にするため、給水・給湯計測用ヘッダーを製作した。計測用ヘッダーは、予め流量センサに必要な用途の数だけ取付け、水圧試験による水漏れ、流量センサの精度、データログへのデータ収録等を確認した。居住者の指定日に既設ヘッダーと交換し、図3に示すように流量センサ、流量センサ用電源供給ボックス、8ch用データログを接続した後に、流量センサからのパルス信号を給水・給湯別の2台のデータログに収録した。

2-3. 住戸の属性

住戸の属性を別途行ったアンケート調査より示す。アンケート調査は計測住戸(24住戸)を対象とした詳細調査と、計測住戸以外(404住戸)を対象とした簡易調査の2種類を行った。表5に家族人数構成を、図4に年齢構成を示す。計測住戸とそれ以外の住戸とも平均家族人数は2.5人であるが、計測住戸では他の住戸と比べて1人世帯と4人世帯の割合が多く、2人・3人世帯の割合が低い。また、年齢構成は、計測住戸では40代が少ないが、20代から50代までそれほど差がない。一方、計測住戸以外では30代が非常に多くなっている。

3. 解析対象と用途別負荷変動の解析

3-1. 解析対象の検討

各住戸内の用途別給水・給湯負荷のデータは、圧縮された形でデータログに収録されている。そのためデータ解凍用プログラムを始め、解凍データを用いて基本的な種々の負荷把握が可能な解析を行うための基礎プログラムを作成した。また、解凍後の膨大な量のデータを用いて各種分析を行うため、MOディスクの使用や分類コード

によるデータ解析などを種々検討した。基礎プログラムでは汎用性を考えて、分析対象住戸、分析期間(日・時・分)、分析時間(日・時・分・秒)、水使用別(水・湯・全体)及び用途別などへの任意設定が極力可能なものとした。

なお、解凍後の計測データを確認した結果、住棟全体では冬・夏期共に全てのデータが使用可能、用途別では冬期4住戸、夏期2住戸が使用不可能データであった。

解析対象住戸・解析期間等を表6に示す。計測データの解析では、1秒データ、1分データの積算値としての時間データを用いて行い、平日と休日(土・日・祝日)に分類して解析を行った¹⁰⁾。

3-2. 計測結果の検証

計測を行った各住戸内の用途別給水・給湯負荷変動と住棟全体給水・給湯負荷変動の関係を検証するため、各住戸の負荷変動を合計した住戸全体と、住棟全体の同時刻における時間負荷を比較した。図5に冬期と夏期における給水・給湯について示す。時間最大負荷の生じる箇所若干相関係数が下がるものの、ほぼ負荷変動として一致しており、概ね住戸内負荷変動の計測結果が住棟全体を代表できるものと考えられる。

3-3. 用途別負荷変動の解析

用途別負荷変動の解析を、冬期と夏期における解析対象住戸全体の解析結果を用いて行った。図6は冬期における解析対象住戸全体的日負荷変動を用途別に示したものである。これより、台所・洗面

表6 解析対象住戸と解析期間

解析対象住戸 (住戸数, 平均面積, 平均居住面積)	冬期	TYPE-A(1DK, 1LDK): 7住戸, 48m ² , 1.3人 TYPE-B(2LDK): 3住戸, 81m ² , 2.4人 TYPE-C(3LDK): 8住戸, 81m ² , 4.3人
	夏期	TYPE-A(1DK, 1LDK): 9住戸, 49m ² , 1.2人 TYPE-B(2LDK): 4住戸, 71m ² , 2.4人 TYPE-C(3LDK): 9住戸, 80m ² , 4.1人
解析期間	冬期 夏期	平成6年1月11日～1月31日 平成6年7月1日～7月31日
解析データ	住棟全体及び住戸内用途別の時間データ (1秒、1分データの積算値)	

*: 3人家族1LDKの1住戸は2LDKに含めた。

図3 住戸内用途別計測システム

表5 家族人数構成

[戸] ()内は%を示す

	1人	2人	3人	4人	5人	平均
詳細調査 n=24	8(33.3)	5(20.8)	3(12.5)	6(25.0)	2(8.3)	2.5人
簡易調査 n=144	33(22.9)	46(31.9)	30(20.8)	26(18.1)	9(6.8)	2.5人

図4 年齢構成

図5 住戸全体と住棟全体の負荷変動の比較

注) ◎: 時間最大負荷を示す。

・便所・手洗の負荷の日較差は500[l/day]程度で、差の少ない定常的な用途であると言えるが、風呂や洗濯の負荷の日較差は、1300[l/day]程度で差が大きく、季節や気象などの外的要因によって負荷が影響されやすい用途であると考えられる。

図7、8は解析対象住戸全体の時間負荷変動と用途別の寄与率をまとめたもので、夏期平日及び休日の1日あたりの給水と給湯負荷の合計を示している。ここで寄与率とは、全用途の負荷に対する各用途の負荷の割合を意味するものとする。平日・休日ともに午前のピークの原因は洗濯によるもので、午後のピークは風呂によるものであり、いずれも寄与率は60%程度である。また平日と休日では各用途の寄与率の時間変化が異なることが分かる。以上のように、寄与率から各用途の占有度合を時間変動で捉えることが出来ると言える。なお、平日・休日ともに深夜での水使用が多くなっている他、午後のピークが午前のピークを越えるなど都市型の集合住宅で多く見られる結果⁴⁾となっている。

次に、各用途別の給水・給湯負荷変動の特性を自己相関係数を用いて解析した。負荷変動の周期性には曜日による1日(24時間)変動が存在するが、ここでは1日の中での負荷パターンについて行った。図9は解析対象住戸全体の各用途の時間負荷変動を用いて、横軸に時間差、縦軸に自己相関係数をとったコレログラムを示したものである。対象は冬期平日の1日あたりの給水と給湯負荷の合計を用いている。さらに、各用途のピーク率(10時間平均負荷に対する時間最大負荷の割合^{*)})を示した。これらによると、洗面、便所、手洗の負荷変動の特性は、8時間程度の短い時間間隔において、相関係数が約0.1程度まで収束していることから、特定の周期をもたない雑音成分と考えられる。また、台所、風呂、洗濯の場合は明確な周期性は検出されなかったが、用途全体では12時間の周期性が検出されている。一方、各用途のピーク率を比較すると、台所、洗面、便所、手洗は約1.0~1.25と変動しない安定した負荷をもつ用途であるが、風呂、洗濯はピーク率が1.6~2.0と大きく、住戸全体の負荷変動に影響する用途であることが理解できる。

用途		台所	風呂	洗面	洗濯	便所	手洗	合計
日使用水量[l/h.戸]	a	122.2	219.4	48.6	133.4	87.2	1.5	621.1
時間平均負荷[l/h.戸]	b=a/10	12.2	21.9	4.9	13.3	8.7	0.2	62.1
時間最大負荷[l/h.戸]	c	11.4	42.0	5.1	22.1	8.1	0.2	69.6
ピーク率	c/b	0.93	1.92	1.06	1.66	0.93	1.25	1.12

4. 時系列解析を用いた負荷変動の予測及びその評価

4-1. 負荷変動の周期性

一般に住戸数が増すと1住戸あたり負荷は低減し、その負荷変動が安定すると言われている⁴⁾。このため本研究では、住棟全体の計測結果を用いて、時系列解析を適用して負荷変動の予測を行った。時系列解析を用いた負荷変動の予測では、まず原データの時系列の周期性を捉えることが必要である。負荷変動の周期性は、平日や休日のような曜日による週変動と、午前や午後のような日変動が存在する。図10は住棟全体負荷の計測データを用いて図9と同様にコロログラムを示したものであるが、住棟全体負荷の計測結果である原データの時系列から、1日・1週間の差分をとることによって定常化¹¹⁾を行うことが可能であると考えられる。

4-2. ARIMAモデル¹²⁾の適用と同定

本研究では、気象条件等の外的要因による給水・給湯負荷変動への影響に関しては、時系列モデルには組み込まずに、まず最も情報量の少ない1変量ARIMAモデルを用い、住棟全体の時間負荷変動のデータから、モデルを同定して予測を行った。

図10 給水負荷変動の自己相関係数

モデルの同定から予測までのフローを図11に示す。モデルは前項で述べたコロログラムに基づき、1, 24, (1日), 168時間(1週間)の3階差分に固定し、自己回帰項及び移動平均項の次数を0から3の間で変化させた場合についてモデルの同定を行った¹³⁾。次に推定期間は冬期、夏期ともに計測期間すべてのデータを用い、給水・給湯ともに冬期では第3週目(1/25~1/31)、夏期では第2週目(7/11~7/17)、第3週目(7/18~7/24)、第4週目(7/25~7/31)について行った。その結果、いずれの場合も第3週目におけるモデルの推定が安定していたため、第3週目におけるモデルについて検討した。このとき、冬期における第1, 2週目と夏期における第1週目に関しては、モデルのパラメータが収束せずに推定出来なかった。予測のための時系列長が必要であると言われているが¹¹⁾、本研究において、時系列長の検討を行った結果、最低でも3週間の時系列長が必要であることが分かった。冬期・夏期の第3週目の負荷変動に対して予測モデルを決定する際の条件としては、その時の実測値と予測値の差(残差)の絶対値の平均値、標準偏差、絶対値の最大値のいずれも

図11 時系列モデル作成のフロー

表7 時系列モデルの同定

対象時系列	モデル 注)*	モデル式 注)**	残差分析		
			絶対値の平均値	標準偏差	絶対値の最大値
冬期・給水 (平日)	ARIMA(2, 2, 2)	$(1+0.531B^{24})(1+0.322B^{168})\nabla_{24}\nabla_{168}Z_t$ $= (1-0.449B-0.358B^2)at$	0.569	0.645	2.049
冬期・給水 (休日)	ARIMA(0, 3, 3)	$\nabla_1\nabla_{24}\nabla_{168}Z_t$ $= (1-0.332B^1)(1-0.884B^{24})(1-0.448B^{168})at$	0.529	0.674	1.966
冬期・給湯	ARIMA(3, 3, 0)	$(1+0.217B^1)(1+0.486B^{24})(1+0.298B^{168})*$ $*\nabla_1\nabla_{24}\nabla_{168}Z_t=at$	1.953	2.356	8.122
夏期・給水	ARIMA(3, 3, 1)	$(1-0.391B^1)(1+0.553B^{24})(1+0.496B^{168})*$ $*\nabla_1\nabla_{24}\nabla_{168}Z_t=(1-0.914B^1)at$	0.643	0.816	2.258
夏期・給湯	ARIMA(3, 3, 0)	$(1+0.500B^1)(1+0.422B^{24})(1+0.447B^{168})*$ $*\nabla_1\nabla_{24}\nabla_{168}Z_t=at$	0.632	0.643	2.729

注) *)モデル:ARIMA(p,d,q) p:自己回帰項の階数 q:移動平均項の階数 d:差分項の階数

***)モデル式の記号

at:自己回帰項 zt:移動平均項 ∇ :差分記号 B:各差分項の変数

予測値は実測値よりBの変数より導かれる。

が最小となるようなモデルとした。各々のモデルに対して残差を繰り返し検証した結果、決定したモデル式を表7に示す。図12は冬期(1/25~1/31)・夏期(7/18~7/24)の時間負荷変動の実測値と予測値の比較をしたものである。また図13は各時間負荷変動における実測値と予測値の相関をとったものである。変動においてピーク時で若干差はあるが、冬期給湯以外は平日・休日等の違い等、変動を的確に予測していて、相関も高い値($R^2=0.8$ 以上)となっている。冬期給湯で低い値となっているのは、給湯使用の周期性を捉えるには母集団が少なかったことが予想される他、今回の計測における原データの負荷変動自体が安定した1日・1週間周期となっていないことによる理由と予想される。図14は同定されたモデルにおける残差の度数分布を示したものである。この結果から、冬期の給湯以外では予測値が実測値の $\pm 10\%$ 以内となっていて、概ねこの範囲を予測信頼範囲とすることが出来る。

4-3. 負荷変動の逐次予測

時系列解析を用いた予測では、逐次予測を行うことで、将来的な負荷変動の予測を行うことができる。逐次予測の手法は一定期間の計測データを用い、過去の履歴によって次期の負荷変動を逐次予測していくものである。本報では、時間負荷変動を用いた逐次予測を行った。

4-2. で述べたようにモデルの同定過程において、モデル推定のための時系列長をすべてのデータから1週間ずつ減らしたもので推定したときに、3週間未満では推定出来なかった。これより計測データの3階差分データにおいては、モデルを安定させるための最小時系列長は3週間であることが判明した。よって冬期の計測結果からは逐次予測を行っても実測値との比較が出来ないので、計測期間が

図12 時系列モデルによる実測値と予測値の比較

1カ月であった夏期の計測結果を用いて負荷変動の逐次予測を行い、検討した。

これは7/1~7/21の3週間の時系列データにより、7/22の1日の時間負荷変動を予測し、次に7/22の実測値が得られたなら7/2~7/22の時系列データを用いて7/23の負荷変動を予測するというように、以降7/31までの予測を1日毎に逐次行うものである。またこのとき用いた予測モデルは、前項で述べた第3週目において同定したモデルであり、データ自体は1日毎に更新されていくが、モデルは固定して行う予測手法を用いた。夏期給水における逐次予測の結果を1カ月の実測データと重ね合わせたものを図15に示す。これにより予測値は残差がほぼ $\pm 10\%$ 以内の信頼範囲に収まる実測値に近い負荷変動を示し、翌日の変動パターンを概ね把握できることが明らかになり、天候等のパラメータを入れることにより精度の向上が期待される。

図13 実測値と予測値の相関

図14 残差の頻度分布

5. まとめ

本研究では、高層集合住宅を対象として、大量データを収録できるデータロガーを用いた給水・給湯負荷の自動計測手法について述べた。またその計測結果の一部を解析するとともに、用途別の負荷変動の周期性を解析した。さらに将来予測を可能とする負荷変動の予測手法の一提案として、時系列解析を適用して計測結果に基づく時間負荷変動の逐次予測を行い、以下の知見を得た。

- (1) 用途別の日変動、時間変動解析において、洗面・便所・手洗は変動の小さい定常的な用途であるが、一方、風呂・洗濯は住戸全体に影響する変動の大きい用途である。
- (2) 計測データを用い時系列解析を行った結果、1日・1週間の周期性を持つことと、モデルを定常化させるためには3週間の時系列長が必要であることが明らかになった。
- (3) 3週間の過去の履歴データを用いて、逐次予測を1日毎に行った結果、概ね予測信頼範囲の±10%の範囲に収まり、将来予測が可能である結果を得た。

謝辞

本研究を進めるにあたり御協力いただいた(財)ベタリーピング「中高層建物への給水方式に関する調査研究」委員会・委員各位を始め、同研究委託者である東京都水道局、また実測調査及び解析等で御協力いただいた東京大学大学院(現(株)鹿島)・土田義勝君、東京工業大学の当時の卒論学生諸君のほか関係各位に謝意を表する。

図15 ARIMAモデルにおける負荷変動の逐次予測
(夏期-給水)

注) 表4における記号の説明及び補足

*)モデル:ARIMA(p,d,q)

p:自己回帰項の階数 q:移動平均項の階数 d:差分項の階数

**)モデル式の記号の説明

at:自己回帰項 α :移動平均項 ∇ :差分記号 B:各差分項の変数

予測値は実測値よりBの変数より導かれる。

参考文献

- 1)紀谷文樹:住宅における水使用と負荷設計について,日本建築学会建築環境工学論文集,1981年4月
- 2)鎌田元康:集合住宅における瞬時最大給水負荷に関する一考察,日本建築学会大会学術講演梗概集,1988年9月
- 3)村川三郎ほか:集合住宅における給水負荷の変動と瞬時最大流量の検討,空気調和・衛生工学会論文集 NO.43 pp1~14,1990年6月
- 4)市川憲良ほか:都営住宅における瞬時負荷を考慮した使用水量の実測調査,空気調和・衛生工学会論文集 NO.51 pp53~67,1993年2月
- 5)小泉明ほか:多元ARIMAモデルによる使用水量の短期予測,水道協会雑誌 NO.651 pp13~20,1988年5月
- 6)水野稔・中村安弘:特集-地域冷暖房プラントの冷水負荷予測,空気調和・衛生工学 VOL.67 NO.8 pp1~47,1993年8月
- 7)紀谷文樹・市川憲良ほか:住宅の瞬時給水負荷に関する研究 その1~5,日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集,1994年9月
- 8)長谷川巖・剣持一・紀谷文樹:時系列を考慮した瞬時給水負荷変動の予測に関する研究,空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(II) pp325~328,1993年10月

9)長谷川巖・剣持一・市川憲良・紀谷文樹:住宅の瞬時給水負荷に関する研究 その4 時系列解析による負荷変動の予測,日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集,1994年9月

10)分類方法の例として「紀谷文樹・村川三郎:給水設備の負荷設計,井上書院,1978」を参照

11)「データ系列の定常性は、自己相関係数が時間遅れがある程度大きいところで0に収束することによって判断できるとされている。」W.グアンデル著 養谷千鳳彦・廣松毅訳:時系列入門,多賀出版,1988

12)「ARIMAモデル (AutoRegressive Integrated Moving Average Model-自己回帰和分移動平均モデルの略)は過去の時系列に含まれる周期性や持続性などの種々の特性を表現できるモデルであり、時系列モデルの中でも時系列過程を的確に説明するモデルである。またARIMAモデルには、他の説明変数は一切使わず、自分自身の過去の履歴と現在の情報のみを用いて将来を予測する1変量ARIMAモデルと、過去の履歴と現在の情報の他に、外的因子である伝達関数や干渉モデルのような関連すると考えられる説明変数も考慮して将来予測を行う多変量ARIMAモデルが存在する。」W.グアンデル著 養谷千鳳彦・廣松毅訳:時系列入門,多賀出版,1988

13)モデルの同定の計算はSAS-ETSというソフトウェアを用いて行っている。

注)

*)例えば、建物規模(住戸数)と瞬時流量をプロットした上で回帰式による瞬時最大負荷の予測を行っている。

**)参考文献4)に基づくピーク率を本研究でも適用した。

使用時間も時間平均負荷も10時間あたりとし、文献4)に依った。

(1996年2月8日原稿受理, 1996年11月27日採用決定)