

ニューラルネットワークを用いた長期水需要予測手法の開発

Developing of method to forecast domestic water demands from a long-range with Neural Network

山田 淳* 田中 久美子**
Kiyoshi Yamada Kumiko Tanaka

ABSTRACT : The results of forecasting domestic water demands from a long-range are important material to develop plans of waterworks and water resources. Therefore, accurate prediction of water consumption is important.

The purpose of this paper is to develop a forecasting model focused on lifestyle, on an individual or household basis. Attribute of households and their activities related to water were built into it.

Neural Network; it had not been used for forecasting method, was applied to built a model. The model was to predict water consumption per household or per capita in annual mean. Forecast figure was calculated with high accuracy. From this, usefulness of forecasting method with Neural Network was shown.

KEYWORD ; Domestic water demands , Forecasting method , Neural Network , Lifestyle

1 はじめに

生活用水の長期的な水需要の予測値は、水資源開発や上水道計画を策定する上で重要な指標となっている。ダムなどの水資源開発は自然環境に与える影響が大きく、適正な水資源開発を実施することが求められている。そのためには、水需要を的確に予測することが必要となる。

一方で、近年はライフスタイルの変化から、水需要に影響を与える要因が多岐にわたり、複雑化してきている。安全でおいしい水への志向による浄水器の普及や高度化、少子高齢化や核家族化による世帯人員数の変化、女性の社会進出の進展による家事労働時間の変化などである。これらの要因が水需要に与える影響は大きいといわれているものの、その定量化や予測手法の構築には至っていないのが現状である。

これまで、生活用水の個人・世帯レベルでの水利用に着目した水需要予測には、数量化理論第Ⅰ類（以下、Ⅰ類とする）が多く用いられてきた¹⁾。これは、Ⅰ類が多変量解析であり、家族属性などの社会的要因や、水利用行動などの機器利用要因を説明変数に取り入れた水需要構造式の作成に適していることが理由に挙げられる。しかし、単純な線形回帰式を用いることから、その推定・予測精度は高くなかった。

これに対し、非線形多変量解析法としてニューラルネットワーク（以下、ニューロとする）がある。ニューロも説明変数を用いて目的変数を求める点でⅠ類と同じであるが、線形回帰式を複数組み合わせ、入力（説明変数）がターゲット出力（目的変数）を導くように調整、訓練するという、より複雑化した非線形モデルであるので、推定・予測精度の向上が期待できる。本研究では、この両手法の推定・予測結果を比較することにした。

2 調査概要

本研究では個人・世帯レベルでの水需要構造に着目し、調査対象家庭の属性及び水利用行動、水利用機器の保有の状況や節水意識、水利用行動、使用水量についての情報を得るためのアンケート調査を実施してきた。表1に調査対象地域別の調査件数、表2に世帯人数別の調査件数を示す。調査は同一家庭を対

表1 調査対象別 調査件数

草津市	戸建住宅	97
	集合住宅	62
大津市	戸建住宅	125
	集合住宅	26
計		310

表2 世帯人数別 調査件数

	94/95年	02年
1人	8	18
2人	52	72
3人	65	63
4人	134	109
5人以上	51	40
不明	0	8
計	310	

* 立命館大学理工学環境システム工学科教授(Dept. of Environmental System Engineering, Ritsumeikan Univ.)

** 立命館大学大学院理工学研究科環境社会工学専攻(Graduate School of science and engineering Ritsumeikan Univ.)

象に1994/1995年（以下、94/95年とする）、2002年（以下、02年とする）に行った。94/95年は同時期と捉え、94/95年、02年の二つの時期とする。調査方法は留置調査とした。調査員が各家庭を訪問し、調査票を配布、後日回収した。

3 使用水量と要因の選定

家族構成、水利用行動などの調査項目を説明変数として、相関分析および一元配置分散分析を用いて検討した。平均原単位水量(L/人・日)を目的変数とする。説明変数とカテゴリーを表3に示す。

調査結果の中から、同一性を重視して4人世帯のみを対象とした。データに一部欠損のある家庭を除いたため、有効サンプル数は、94/95年で112、02年で88である。相関分析は年度毎、分散分析は94/95年と02年のデータを合わせて解析した。単相関係数と分散分析の検定結果を表4に示す。両年度通して、節水意識、保有台数、洗濯回数の影響度が大きいことがわかった。

4 水需要予測構造式の作成

4.1 構造式の概要 前述したように、I類とニューロを水需要予測モデルとして、構造式を作成し、推定・予測結果を比較する。I類は説明変数のカテゴリーごとにダミー変数を設け、目的変数を線形回帰した。ニューロはバックプロパゲーション法による階層型ネットワークを用いている。図1にニューラルネットワークの構造を示す。入力層、中間層、出力層からなり、隣りあう層は連結している。入力層と中間層の連結には式(1)に示すシグモイド関数、中間層と出力層には式(2)に示す線形関数を用いた。入力層のニューロン数は10、中間層のニューロン数は1100、出力層のニューロン数は2である。解析にはそれぞれ専用の市販ソフトを用いた^{注)}。 $f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$ …(1) $f(x) = x$ …(2) x : ニューロンへの入力値

4.2 構造式の妥当性 ところで、水需要構造式(モデル式)は将来の水需要量を予測するために作成する。予測は、説明変数・目的変数が既知である場合の「推定」とは異なり、目的変数である水量が未知なものとして、扱わなければならない。すなわち、構造式に説明変数のみを入力し、算出した値が「予測値」である。

表3(1) 説明変数とカテゴリー

カテゴリー	65歳以上人数	6歳以下人数	就業者人数	主婦労働時間	外食(月間)	外泊(年間)
1	0人	0人	1人以下	30時間未満/週	ほとんどない	ほとんどない
2	1人以上	1人以上	2人	30時間以上/週	1回/月	3~5回程度
3	-	-	3人以上	働いていない	2回以上/月	1週間程度
4	-	-	-	-	-	2週間以上

表3(2) 説明変数とカテゴリー

カテゴリー	保有台数	洗濯回数(通年)	入浴回数(夏)	節水意識
1	4台以下	2回以上/日	1回未満/日	以前から心掛けています
2	5台	1回以下/日	1回以上/日	以前は心掛けていなかったが現在は心掛けています
3	6台以上	-	-	現在は心がけていない

注) 保有台数とは水利用機器保有台数の略であり、食器洗い機、浄水器、シャワー付き洗面台、全自動洗濯機、二槽式洗濯機、乾燥機、シャワー、自動湯張式、循環式風呂、温水洗浄便座の中から、所有している台数を意味する

表4 原単位水量への影響度

項目名	単相関係数		検定
	94/95年	02年	
節水意識	0.29	0.39	***
保有台数	0.20	0.30	***
6歳以下人数	0.11	0.23	**
主婦労働時間	0.04	0.23	-
洗濯回数(通年)	0.34	0.18	***
外食(月単位)	-0.06	0.18	-
65歳以上人数	0.22	0.07	-
入浴回数(夏)	0.15	-0.01	-
就業者人数	0.12	-0.03	-
外泊(年単位)	0.32	-0.03	-

注) *** 1%有意 ** 5%有意

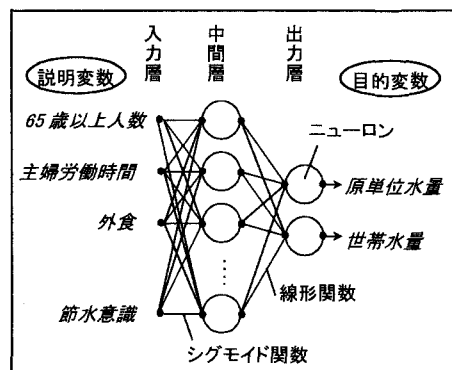


図1 ネットワーク構造

この予測値と実際の値（原単位水量）を比較して初めて、構造式の妥当性が証明されるのである。

ここでは、02年の説明変数と原単位水量を用いて構造式を作成し、原単位水量を「推定」した構造式の妥当性を検証した。次に同じ構造式に94/95年の説明変数を用いて「予測」し、94/95年の原単位水量と比較した。02年データで構造式を作成したのは、将来の予測に有効だと考えたからである。

4.3 解析結果 図2に原単位水量の推定・予測結果を示す。「上位値」は平均値と標準偏差の和を、「下位値」は平均値と標準偏差の差を表している。図3には推定値・予測値と実測値の散布図を示す。また表5には推定・予測結果の数値を示す。推定値に関して平均、最小はI類とニューロで大差ないものの、最大、標準偏差はニューロの方がより実測値に近い。予測値に関しては、平均、最小、最大、標準偏差すべてで、ニューロの方が実測値に近い。特に平均は長期水需要予測の目的からも、重要な指標であり、実測値252[L/人・日]に対して、予測値264[L/人・日]は、信頼性の高い値だと言える。

相対誤差はI類を用いた場合、推定結果で18.89%、予測結果で55.79%となった。ニューロを用いた場合には、推定結果で7.22%、予測結果で21.93%となり、I類よりもニューロの方が、良好な結果となっている。

一方で、I類、ニューロともに、相対誤差は推定結果よりも予測結果の方が、精度が落ちている。その原因として、02年と94/95年で水需要構造が変化し、影響要因が変化したこと、また同じ要因でも影響度が変化したことが考えられる。

5 まとめ

本研究により、得られた結果を以下に示す。

- (1) 4人世帯の原単位水量に対しては、節水意識、保有台数、洗濯回数（通年）の影響が大きい。
- (2) ニューロを用いた場合、予測値の平均は実測値の平均に近く、信頼性の高い値が得られた。
- (3) I類とニューロでは、推定精度、予測精度ともにニューロの方が良い結果が得られた。

ニューロを用いた生活用水の長期水需要予測手法はこれまでに報告例がないが、その有用性が確認できたと考えている。

参考文献

- 1) 山田淳，飯島直人，他；全国水道研究発表会講演集第54回 pp64-65, 2003, 5
 - 2) 浅野良晴，野本健太，他；日本建築学会計画系論文報告集第527号 pp53-59
- 注) I類分析には『エクセルアンケート太閤』、ニューロ分析には『MATLAB』を用いた。

■平均 ■最小 ■最大 ◇上位値 ▲下位値

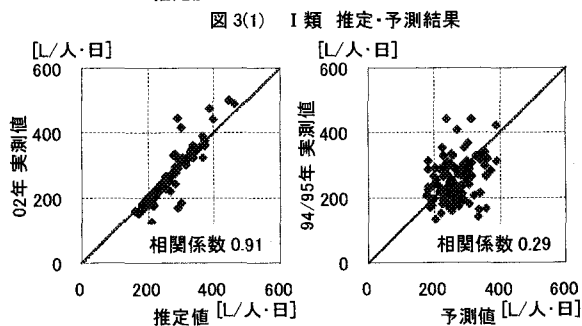
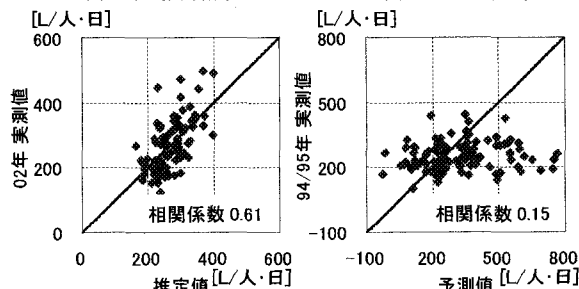
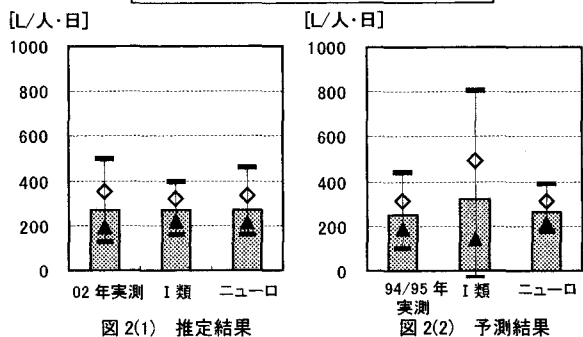


表5 推定・予測結果

項目	推定結果 (94/95年)			予測結果 (02年)		
	実測	I 類	ニューロ	実測	I 類	ニューロ
平均	270	270	272	252	318	264
最小	126	162	163	102	-27	176
最大	499	400	463	443	805	392
標準偏差	81	50	63	65	176	50
相対誤差		18.9%	7.2%		55.8%	21.9%
相関係数	-	0.61	0.91	-	0.15	0.29
決定係数		0.55	0.83		0.02	0.08