

都市における上水需要量の変動特性について*

DYNAMIC ANALYSIS OF DEMAND VARIATION IN WATER SUPPLY SYSTEM

住 友 恒**

By Hisashi Sumitomo

1. 緒 論

一般に都市上水道における給水量は、都市の性格、立地条件、給水条件、気温、需要者の家計消費景気など多くの因子によって影響をうけている。これらの因子と給水量（あるいは需要水量）との相関関係を明らかにすることは、上水需要の特性を把握するばかりでなく、上水道管理の合理化を一段とすめることはいうまでもない。しかるに従来、これら諸因子の給水量に与える影響については、単に定性的な影響の有無を論ずるにとどまることが多く、定量的にとらえた例はきわめて少ない。たとえば、給水量の将来予測にあたっても、1人1日当たり水量に年々の増加量を見込んでおくべきことは認めてても、増加の原因を項目別に定量化して、根拠のある増加量を算出することは不可能な状態で、せいぜい普及率の上昇あるいは住民の生活様式の変化を過去の一定期間の水量変化率と同等に見込み、いくらかの安全率を加味する程度であろう。その結果給水量が予想外に早く計画目標に達したり、逆に工業用などに過大の需要を誘発したり、給水施設の遊休が生じたりしても、これらの原因を把握しにくく、いたずらに管理上の混乱を招くことにもなりかねない。

近年管理技術の進歩に伴ない、管理対象がより細部におよびうるに至るとともに、上水需要実態の正確な把握が要求されるようになり、国内外を問わず、需要水量の調査研究が多々みうけられるようになった。しかし現段階では、単に資料の統計的処理に終始したものが多く、変動原因と関連づけた分析例は、結局変動の定性的確認にとどまっている。この主な原因是、まず調査対象の需要水量が数多くかつ複雑に関連する原因によって誘発されたものであるから、分析が多岐にわたらねばならないにもかかわらず資料が不十分であり、逆に分析の焦点を絞ろうにも誘因の影響の大小が明確でない。さらに需要水量に与える影響は、とりあげる時点によって一定せず、問題をいっそう複雑かつ解決困難にしている。

しかるに、上水道においては、水質が上質であるうえ

にはほぼ一定しているので、需要者の判断にもとづく上水需要特性は、工業用などに使用されるときの例外を除き、一般に水量のみに反映されるものといえるので、需要水量と外的影響因子との相関関係の追求を、まず水量分析のみに重点をおいて行なうことができよう。

そこで以下においては、上水需要特性を定量的に明らかにするため、需要の原因と結果を非定常状態としてとりあげ、水量変動の特性の把握を定量的に行なおうとするものである。ただし変動といっても、変動を起こす原因もきわめて多いので、ここでは第一段階として問題を巨視的にとらえ、給水事情の変化に伴う需要水量の変動、たとえば水道料金値上げに伴う需要変動、給水能力増大に伴う需要増などをとりあげて検討を加え、都市という上水の需要集団の総括的特性を明らかにしてゆくことにした。したがって本研究の結果は、上水道の総合的な拡張計画あるいは設計・管理に際して考慮すべき巨視的需要特性の比較に用いられるが、一方このような分析が上水需要構造のより綿密な解析を行なううえで、変動要因や需要要因を掘り下げてゆくためのひとつの手がかりになるものといえよう。

2. 変動分析の目的と効果

一般都市給水の目的は、豊富かつ良質な水を経済的に供給することであるが、合理的な給水計画を実施するためには、この目的が十分に達成されているかどうかを何らかの方法で評価しなければならない。いま最も理想的な場合を考え、水源、浄水場、配水設備などすべての供給条件に特別な制約がないものとすると、単に需要者の立場での水の使用効果のみによって、給水目的の評価を行なうことも可能である。このような前提で、水に限らず、一般資源の価値を評価するには大別してつぎのような方法が考えられる。

A : 定常状態での評価の場合

A-1 : 安定状態における平均的評価を求める方法

$$\text{評価} = [\text{資源のもたらす効果}] / [\text{使用全資源量あるいは投入資源量}]$$

A-2 : 安定状態に任意の微少（あるいは単位量の）

変化を与える、その変化がもたらす効果によつて評価を求める方法

* 日本水道協会第18回全国水道研究発表会（昭41.5）にて一部発表

** 正会員 工修 京都大学助手 工学部衛生工学教室

評価=[微少変化がもたらす効果の変化量]/[増加あるいは減少資源量]

B：非定常状態での評価の場合

任意の変化を与えるのではなく、発生した変動量とその変動を誘発した原因要素の変量から評価を求める方法

評価=[変動がもたらす効果の変化量]/[原因要素の変量]

従来、給水目的の評価は A-1 によって行なわれるが一般的で、とくに負の効果ともいべき用水経費の大小で表現されることが多い。この方法は供給条件に制約がある場合にも用いするのが特徴である。普通 1m³ 当りの用水単価が給水計画立案に際する尺度にもなり、逆に給水をうけた人はその水に平均単価に相当する価値を認めていいるとする考え方である。この方法は非常に簡明である反面、一つの欠点がある。それは給水目的の評価が水量規模によって変化することを十分表現しえないことであり、用水単価が上水道規模により変化すること、また需要者側においても使用量が多いほど平均的価値が低下するのが一般的であるが、これら変化を平均値としてしか表わしえない。これに対し A-2 の考え方は、それぞれの水量規模での評価を正確に表わすことを目的としている。任意の水量規模にさらに追加（あるいは減少）した 1 単位の水量によって余分に生ずる（減少する）効果によって評価を行なうもので、限界価値あるいは付加価値などとよばれるものである。したがって上水道計画規模の設定においては、A-2 の方法によることが必要と思われるが、とくに需要者の側での限界単価の算定は、実験的あるいは概念的にならざるをえず、実際問題として不可能と考えられる場合が多い。そこで A-2 の考え方を上水需要分析に活用するために、適用の方法を発展させたものとして B の方法について考えてみる。すなわち実験的あるいは概念的に需要関係の微少変動と影響量を求めるかわりに、非定常な需給関係における任意の自然変動量をとらえ、原因と考えられる因子を限定してゆき、変動原因となる要因の評価を行なうとともに、間接的、直接的に各水量規模における評価を行なうわけである。

Bの方法は以上のように、非定常で自然的、また需要集団としての総括的な変動現象を用いて、給水目的の評価を行なうので、新たに人為的ないしは実験的な原因要素の変動を考慮する必要はない。現実に行なわれている計画と実施のプロセスを考えると、過去の給水実績にもとづいて計画が立案され、浄配水能力の拡張として実施される従来の拡張方式は、あたかもBの方法でとらえようとしている現象を明らかにするために、A-2の方法で一つの条件変動を計画実施のかたちで与えたとみなすこともできよう。しかしこのとき、給水実績の分析はもと

より評価も十分に行なわれてはいはず、同じ傾向をくり返し延長することにより、単に B→A-2 のプロセスを連けいさせているにすぎない。したがってここで重点的にとりあげようとしている B の方法は、需要特性を明らかにするばかりでなく、この結果が上水道の計画・管理などの合理化にはたす役割も大きいものといえよう。

3. 上水需要のモデル化とその分析

前章に述べた需要変動を実際に可能にするためには、変動とその原因あるいは変動とそれに伴う他の影響、変動などのいわゆる原因と結果の関係を明らかにしておく必要がある。たとえある変動を認めてその原因が不明であるとか、また複数の原因によって複合された変動を各原因に分割する必要のあるときなど、限界評価が実際上困難な場合も多い。このため著者らはすでに、個々の変動要因の積み上げによって上水需要構造を明確化し、かつ将来予測をも行なう研究に着手しているが、ここでは前記のような目的により適合させるため、逆に需給関係を総括的な観点から検討し、一つの標準としてなるべく普遍的な需要モデルを設定し、そのうえで変動を理論的に求められるようにし、さらにこれを実際に上水道における需要関係に発展させることを試みる。

(1) 変動因子の検討

需要の関係をモデル化するに先だち、需要が主としていかなる要因によって構成されているかを検討して、以下において用いる要因を選定しておく。

あらゆる原因因子の変動は、結果的にはすべて全需要水量の変動として現われてくるので、全需要水量が変動分析の対象となる一つの基本量であることは明らかである。一般に全需要水量は、[給水人口] × [1人当たり需要水量]と表わされるが、給水人口は数的に明確で一応問題がないものとすれば、変動分析における基本量は結局1人当たり需要水量であると考えてよい。すなわち需要変動の特性は、ある種の変動原因により、1人当たり需要水量がいかに変化するかによって定まる事になる。

いま問題を総括的に取り扱う方法として、1人当たり需要水量 q を二分し、

と表わす。ここに q_1 は生活を維持するうえに不可欠の水量（生活用水）で、たとえば飲料用水とか最少限度の風呂用水、洗濯用水、炊事用水などの 1 人当たり需要水量である。 q_2 はどちらかといえば生活にうるおいをもたらすための水量（余裕水量）で、たとえば撒水、掃除用水、家庭用冷房用水あるいは限度量以上の風呂、洗濯、水洗便所、洗車、噴水用水などの環境用水の 1 人当たり換算量である。

このように用途によって需要を二分して分析する方法は、すでに Geyer ら¹⁾によって試みられ、家事用水と撒

水用水に分割したとき、各家庭の家計状況によって両需
要水量の特性に差の生じてくることが指摘されている。
しかしあが国では各家庭における撒水用水量が限られて
いるので、アメリカの例と同様に取り扱うことはできな
い。そこで上記のごとく二分し、とくに q_2 の用途を抽
象的な表現にとどめておく。

さてこのように生活用水と余裕水量とにわけた場合、両者の水量は各家庭の家計景気あるいは収入額に密接に影響されることは明らかで、この点についても前記 Geyer らのみならず、Larson ら^{2), 4)}によっても強調されている。すなわち q_1 と q_2 それぞれについて、各家庭における水に対する価値観が水量に反映されるものと考え、一般的には、 q_1 に対する評価は高く変動をうけにくいものであり、一方 q_2 は需要者の水に対する考え方しだいで変動をうけやすい場合が多いと考えられる。

つぎに q_1 , q_2 がある変動原因に対してどのように応答するかを考えるが、ここではその基本方針を考察しておく。前に示した B の評価方法と関連しては、たとえば効果の変動として基本量 q の変動量 (Δq) をとり、原因の変動 (ΔC) を一般に経費に関係づけてとりあげると、評価値 ($\Delta C/\Delta q$) が単位水量当りの金額としてあらわされるので、従来の考え方と対比できてきわめて好都合である。ところで需要水量変動は複数の同時原因によるものが多く、分析は必ずしも容易でない。水道料金値上げによって需要が変動しても、同時に他の原因として景気変動、気温変動などが考えられ、すべてが料金値上げに起因するとは断定できない。現段階では複数の原因因子を綿密に積みあげてゆく方式が不可能なことが、需要分析を総括的に行なわざるをえない理由となっている。複数原因による場合には、まず主原因のみをとりあげ、ほかの微少な原因因子は補正消去するかあるいは近似的に無視して分析を行なうことになる。

(2) 需要の数式モデル

以下に用いる記号の説明を表-1にまとめて示す。

基本量 q を構成する q_1 と q_2 との相互関係の一般論として、現実の上水需要から判断して q_1 と q_2 がたがいに全く独立した需要であるとは考えられない。 q_2 は q_1 の約何倍程度という表現がされるところからも、一般に q_2 は

によって表わしうるであろう。関数 f_1 を明確に定義づけることは現段階では不可能なので、つぎのように考える。

いま変動の原因となる任意の因子を C とすれば、すでに述べたように、 dq/dC (あるいは dC/dq) は直接あるいは間接的に一つの評価を表わすものと考えることができるから、

と定義する。

表-1 記号説明 () 内は単位の一例

a : 単位水量当り水道料金値上り額 (円/m³)
 b : 水道料金年間総支払い額の増加額 (円/年)
 b' : 水道料金年間総支払い額の増加係数 (円/m²)
 C : 特に限定されない変動の原因となる因子
 d : 年間給水経費の増加額 (円/年)
 e : 給水人口増加率 (人/年)
 E : 年間総給水経費 (円/年)
 k_j : 0 を含む定数, $j=0,1,2,\dots,((人\cdot年^2/m^3)^j)$
 m_1 : $=k_0 (\cong q_2/q_1)$
 M : 一時払いの拡張費 (円)
 P : 給水人口 (人)
 q : 年間1人当たり需要水量 (m³/人・年)
 q_1 : 年間1人当たり生活用需要水量 (m³/人・年)
 q_2 : 年間1人当たり環境用需要水量あるいは余裕水量 (m³/人・年)
 Q : 年間総需要水量 (m³/年)
 Q_m : 給水能力 (m³/年)
 ΔQ_m : 給水能力の増大量 (m³/年)
 r : 償却のための年利率
 s : ラプラス変換変数
 t : 時間 (年)
 V_{qi} : q_i に関する評価
 Z : 水道料金年間総支払い額 (円/年)
 α : 単位水量当り水道料金 (円/m³)
 α_0 : 単位水量当り給水経費 (円/m³)

上水道においては、同一の需要者に対して q_1 と q_2 の料金は同等に扱われる所以、 q_1 に対する評価にくらべて q_2 に対する評価が小さい場合は、当然 q_1 に支払う金額にくらべて q_2 に対しては少しの金額しか支払おうしないことになろう。水量的にいえば q_1 にくらべて q_2 は少ないとも考えられる。したがって q_1 と q_2 の比が、おののに対する評価値 V_{q_1}, V_{q_2} によって決まると言えよう。これを次式のように表わす。

$$\frac{q_2}{q_1} = f_{\Pi}(V_{q_1}, V_{q_2}) = f_{\Pi}\left(\frac{dC}{dq_1}, \frac{dC}{dq_2}\right). \quad \dots\dots(4)$$

q_1 と q_2 はともに同質の水を扱うので、それぞれの評価はたがいに他に影響されるものと考えられ、

の表現を認めることができよう。したがって式(4)はつぎのように書き改められる。

または

一般的評価においては、変動原因の C がとくに限定されないので、いま C として時間 t をとることができるものとする。したがって式(7)は次式のようになる。

式(8)の関数 f_W の型としては種々のものを想定でき

るが、基準的な型としてつぎのように考えることもできよう。

$$\frac{q_2}{q_1} = k_0 + k_1 \cdot \left(\frac{dq_1}{dt} \right) + k_2 \cdot \left(\frac{dq_1}{dt} \right)^2 + k_3 \cdot \left(\frac{dq_1}{dt} \right)^3 + \cdots + k_j \cdot \left(\frac{dq_1}{dt} \right)^j \quad (9)$$

すなわち

$$q_2 = q_1 \cdot \sum_{j=0}^j k_j \cdot \left(\frac{dq_1}{dt} \right)^j, \quad (10)$$

ここで j は整数で、 k_j は 0 を含む定数とする。

しかしながら、 q_1 と q_2 に分割する際の不確定要素、式 (10) の誘導過程における仮定事項などから考えて、現段階では式 (10) の j をいたずらに大きくすることは適当でなく、むしろ $j=1$ あるいは 2 度に限定した簡単な型とし、それ以上の項がもつ影響量は式中の各係数に包含させて表現できるものとするのが妥当であろう。結局式 (10) は、 k_0 を m_1 と書きかえて、

$$q_2 = q_1 \left\{ m_1 + k_1 \cdot \frac{dq_1}{dt} + k_2 \cdot \left(\frac{dq_1}{dt} \right)^2 \right\} \quad (11)$$

あるいは

$$q_2 = q_1 \left\{ m_1 + k_1 \cdot \frac{dq_1}{dt} \right\} \quad (12)$$

となる。すなわち、余裕水量 q_2 は、必要水量 q_1 の一定倍の量にある所定量を加えたものと考え、とくにその倍率は、 q_1 の絶対量およびその変化率に関連して決定される係数を考慮していることになる。また式 (12) の解釈として、 q_2 は q_1 が大きければ大きいほどますます増大するという考え方と、 q_1 の変化率が 0 でない、すなわち絶対必要水量が変化しているときは、水の価値観もそれに応じて変化しているものと考え、 q_2 も当然その影響をうけるとみなす考え方の両方を含んでいるといえる。 k_1 は $(1/(dq_1/dt))$ と同じ次元をもち、 m_1 は無次元数である。

したがって需要水量の最終的な数式表示は式 (12) を用いてつぎのように表わすことにする。

$$q = q_1 + q_2 \\ = q_1 \left\{ (1+m_1) + k_1 \cdot \frac{dq_1}{dt} \right\}, \quad (13)$$

$$\therefore Q = P \cdot q = P \cdot q_1 \left\{ (1+m_1) + k_1 \cdot \frac{dq_1}{dt} \right\}, \quad (14)$$

ここに P は給水人口で、 Q は全需要水量である。

(3) モデルの分析

変動分析における基本量 q_1 , q_2 と総需要水量の基本的な関係を式 (14) のように総括的な数式モデルとして表わすことができたので、以下においては、このモデルを用いて、ある外的変動原因に微少変化がある場合、上記需要の基本因子はいかに変動するかを理論的に考察する。ただし、一般的の上水需要においては、いろいろの原因による需要変動があるので、それぞれに応じて式 (14) を用いて基本となる数式モデルを考慮する必要があり、分析結果も変わってくる。つぎに示す式 (15) はその数

式モデルの一例である。本文では代表的な変動の例について解析するにとどめるが、他の場合についてもまったく同様の手法を用いることができる。

a) 水道料金値上げによる需要変動

水道料金が値上げされると、一時的に需要水量が減少して、しかるのち徐々に元にもどる場合とか、ほとんど有意の変動を生じない場合など、需要水量に与える影響(変動)は、時により、都市により一定しない。このような点に明らかに各都市特有の需要特性が現われていると考えられる。

水道料金の総支払い額を Z とすれば、

$$Z = \alpha \cdot Q = \alpha \cdot P \cdot q = \alpha \cdot P \cdot (q_1 + q_2) \quad (15)$$

が成立する。料金総支払い額すなわち収入を $Z + \Delta Z$ に増加したいとき、料金 α を $\alpha + \Delta \alpha$ に変化する。以下、 Δ は常に微少変化量を表わす。ここで、料金変動とともに需要変動の直接の原因因子は $\Delta \alpha$ となるが、この $\Delta \alpha$ は上記のごとく、目標とする ΔZ によって決定されるところから、 ΔZ は間接的な変動の原因因子といえる。式 (15) を用いて需要の変動とその原因の関係を考慮すれば、次式のように表わされる。

$$\Delta Z + \Delta Z = (\alpha + \Delta \alpha) \{ (q_1 + \Delta q_1) + (q_2 + \Delta q_2) \} \cdot P \quad (16)$$

式 (13) を用いて q_2 を消去し、相対的な微少項を無視すると、式 (16) は、

$$\Delta Z = P \cdot q_1 (1+m_1) \Delta \alpha + P \cdot \alpha \cdot (1+m_1) \Delta q_1 \\ + P \cdot \alpha \cdot q_1 \cdot k_1 \cdot \frac{d \Delta q_1}{dt} \quad (17)$$

となる。式 (17)において P , q_1 , α など Δ 記号のつかない値は、変動前の初期値を表わすことになり、定数として扱うことができる。

式 (17) は、変動の原因 ΔZ , $\Delta \alpha$ の影響により、 Δq_1 にて表わされる需要水量がいかに変動するかの基本的な関係を示している。すなわち、水道料金総支払い増額 ΔZ は必ずしも $\Delta Z = \Delta \alpha \cdot Q$ (ここで Q は変動前の初期値) になるとは限らず、需要量が変動することが多い。需要量変動に伴う実質料金総支払い増額を $\Delta Z'$ と表わせば、これは時間の関数として、 $\Delta Z'(t) = \Delta \alpha \cdot Q(t)$ とも表わされよう。この実質料金総支払い増額がいかに変動するかは、 $\Delta \alpha$ が一定値のとき、需要水量の変化に比例的に変動し、水量変動を把握することによって容易に求まる。そこで以下においては、変動の原因因子としての目標増 ΔZ と需要量変動の関係に考察を加えてゆく。すなわち、ある ΔZ の変動原因により、最終的には安定するものと考えられる需要量が時間とともにいかに変動するかを分析しつつ、各需要の特性を追求してゆく。そこで、式 (17) をラプラス変換すると、

$$\Delta Z(s) = P \cdot \alpha \{ k_1 \cdot q_1 \cdot s + (1+m_1) \} \Delta q_1(s) \\ + P \cdot q_1 (1+m_1) \cdot \Delta \alpha(s) \quad (18)$$

を得る。 α の変動 $\Delta \alpha$ による q_1 の変動 Δq_1 を与える関

これより

$$\begin{aligned}\Delta E &= \alpha_0 \cdot P \cdot q_1 \cdot k_1 \cdot \frac{d \Delta q_1}{dt} \\ &+ \alpha_0 \left\{ (1+m_1) + k_1 \cdot \frac{dq_1}{dt} + k_1 \cdot \frac{d \Delta q_1}{dt} \right\} \\ &\times (q_1 \cdot \Delta P + P \cdot \Delta q_1 + \Delta P \cdot q_1) \quad \dots \dots \dots (35)\end{aligned}$$

となる。ここで 3.(3), a) と同様の手順をふむと、つぎのような近似関係式を得る。

$$\begin{aligned}\Delta E(s) &= \alpha_0 [(1+m_1)q_1 \cdot \Delta P(s) \\ &+ \{P \cdot (1+m_1) + k_1 \cdot P \cdot q_1 \cdot s\} \cdot \Delta q_1(s)]. \quad \dots \dots \dots (36)\end{aligned}$$

ΔP を考慮したのは、利用できる資料がすべて人口増加のある場合に対するものに限られるからである。もし

$$\Delta E(t) = d, \Delta P(t) = e \cdot t \quad (d, e \text{ は定数}) \quad \dots \dots \dots (37)$$

とすると、給水人口が年々一定数だけ増加しているときに、ある一定の給水能力拡張（年間当たり d 円増に相当）があるときの需要水量変動を考えることになる。

式 (36), (37) の両式によって

$$\begin{aligned}\Delta q_1(t) &= \frac{d + \alpha_0 \cdot e \cdot k_1 \cdot q_1^2}{\alpha_0 \cdot P \cdot (1+m_1)} (1 - e^{-\frac{1+m_1}{k_1 \cdot q_1} \cdot t}) \\ &- \frac{e \cdot q_1}{P} \cdot t \quad \dots \dots \dots (38)\end{aligned}$$

が求められ、さらに式 (26) を用いると、

$$\begin{aligned}\Delta q(t) &= \frac{d + \alpha_0 \cdot e \cdot k_1 \cdot q_1^2}{\alpha_0 \cdot P} (1 - e^{-\frac{1+m_1}{k_1 \cdot q_1} \cdot t}) \\ &- \frac{e \cdot q_1 (1+m_1)}{P} \cdot t \quad \dots \dots \dots (39)\end{aligned}$$

が得られ、したがって、

$$\Delta Q(t) = \frac{d + \alpha_0 \cdot e \cdot k_1 \cdot q_1^2}{\alpha_0} (1 - e^{-\frac{1+m_1}{k_1 \cdot q_1} \cdot t}) \quad \dots \dots \dots (40)$$

が最終的に得られる。

以上のようにして需要変動の関係式を導くことができたが、各式の実用にあたって、現在用いられるデータからは q_1 の値を明確に定めにくい欠点があり、厳密には q_1 をも未知数とするか、または適当な試算法によらねばならない。しかし、上水需要の詳細な要因別積上げが可能となれば、 q_1 の絶対量を定めることができるはずである。また一方、現在の総括的な分析法においては、 q を q_1 と q_2 のみに分けていたが、当然これらは明確な区別ができないことが多いと考えられ、主要因以外の要因による微少な従属的変動量の補正、各種係数の精度を勘案して、 q_1 を決定すればよいと思われる。また実用上、モデルを近似的に取扱う場合については、次項に示すように、上述の各関係式において q_1 を q と書きかえることも可能となる。

c) 分析結果の実用化に関する考察

以上の方法によって、実際の上水需要の特性を分析してゆくことができるが、需要の実状、すなわち、 q_1 と q_2 の分離の不明確さ、あるいは変動量に対する変動原因の多様性などを考慮すると、得られるデータは導いた

各関係式の要求する精度を必ずしも満たすことができない。そこで以下においては、精度の均衡による実用化を主眼として、各関係式をさらに簡略化することを試みる。

一例として 3.(3), b) の式 (39), (40) をとりあげる。すでに述べたように、これらの式には q_1 が含まれ必ずしも実用的とはいえない。初期値 q_1 の算定には式 (12) を式 (26) のように変形して用いたが、ここでは理論的には正しくないが、式 (26) を拡大解釈した次式を用いることにする。

$$q \equiv (1+m_1)q_1. \quad \dots \dots \dots (41)$$

式 (41) を式 (39), (40) に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned}\Delta q(t) &= \frac{d(1+m_1)^2 + \alpha_0 \cdot e \cdot k_1 \cdot q^2}{\alpha_0 \cdot P \cdot (1+m_1)^2} \{1 - e^{-\frac{(1+m_1)^2}{k_1 \cdot q} \cdot t}\} \\ &- \frac{e \cdot q}{P} \cdot t, \quad \dots \dots \dots (42) \\ \Delta Q(t) &= \frac{d(1+m_1)^2 + \alpha_0 \cdot e \cdot k_1 \cdot q^2}{\alpha_0 \cdot (1+m_1)^2} \{1 - e^{-\frac{(1+m_1)^2}{k_1 \cdot q} \cdot t}\}. \quad \dots \dots \dots (43)\end{aligned}$$

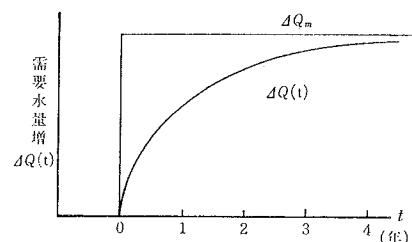
これら 2 式において、 t 以外は定数で、 α_0 は単位水量当たり給水経費、 d は給水経費の増加額、 e は給水人口増加率、 q は Q の拡張開始前の 1 人当たり需要水量の初期値をとればよいので、実績資料によって容易に $\Delta q(t)$, $\Delta Q(t)$ を計算することができる。なお d は年間経費としているので、一時払いの拡張費 M があるときは、利率を r として T 年間で償却されるものとして、

$$\begin{aligned}M &= d \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{1+r} + \frac{1}{(1+r)^2} + \dots + \frac{1}{(1+r)^T} \right\}, \\ \therefore d &= M \frac{r(1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \quad \dots \dots \dots (44)\end{aligned}$$

のように求めることができる。

つぎに、給水能力を拡大したときの需要増についてのみいえることであるが、一般にある時点 ($t=0$) において給水能力が ΔQ_m だけ増大されると、図-1 に示すように、総需要水量は徐々に増加して拡大された全能力に近づいてゆくが、当然これを越えることはできない。需要水量が給水能力によっておさえられていたときに設備が拡張されると、制約がゆるめられるため需要量が増大し、ふたたび給水能力が制約となるまで増大をつづける例などがこれに相当する。すなわち、式 (43) において

図-1 給水能力拡大と需要水量増
Fig. 1 Capacity expansion and incremental water demand.



$t \rightarrow \infty$ とすると次式が成立することになる。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta Q(t) = \frac{d(1+m_1)^2 + \alpha_0 \cdot e \cdot k_1 \cdot q^2}{\alpha_0(1+m_1)^2} = \Delta Q_m. \quad \dots \dots \dots (45)$$

式(45)を用いると式(42), (43)はつぎのように書ける。

$$\Delta q(t) = \frac{\Delta Q_m}{P} \{1 - e^{-\frac{(1+m_1)^2}{k_1 \cdot q} \cdot t}\} - \frac{e \cdot q}{P} \cdot t, \quad \dots \dots \dots (46)$$

$$\Delta Q(t) = \Delta Q_m \{1 - e^{-\frac{(1+m_1)^2}{k_1 \cdot q} \cdot t}\} \quad \dots \dots \dots (47)$$

ところで、式(45)において ΔQ_m を決定するのに、実際の施設拡張などにあたっては左辺から右辺を決定する方法と、右辺そのものを他の要因によってまず決定する方法とがあろう。前者は各都市の需要特性 (m_1, k_1 によって表わされる) を考慮してこれを延長する考え方で、一応潜在需要量を考慮したことに相当する。一方、後者は先に ΔQ_m を決定する場合で、この決定した ΔQ_m が m_1, k_1 を決定づけることになり、需要の特性が従来値と異なってくることがある。このとき、需要者は需要特性が従来より変わったことによって供給条件が変化したことを意識しうる。将来需要増対策としての施設拡張には、このような事項をも考慮しなければならない。

さて、既存データによって需要特性解析を行なう場合についてつぎに記す。上記とは別に、一般に、上水道需給関係では、 ΔQ_m が既知であることが多いので、式(46), (47)を利用するほうが便利なことが多い。たとえば、人口 P 、1人当たり年間需要水量 q 、人口増加率 e の都市で給水能力を ΔQ_m だけ増強したとき、 m_1, k_1 がわかれれば、 $\Delta q(t), \Delta Q(t)$ を推定することができる。また逆に、 ΔQ_m に対して $\Delta Q(t)$ の実績がわかっていると、式(47)に $t, \Delta Q_m, \Delta Q(t)$ の各値を代入することによって、 m_1 と k_1 の関係を求めることができ、これより需要の特性を相対的に把握することができる。また q のうち q_1 の占める割合を推定することによって、水量需要がどの程度の節約を含むものであるかということなども、相対的に評価することができるものと考えられる。

実際計算にあたっては、式(47)が

$$\ln \left\{ \frac{\Delta Q_m - \Delta Q(t)}{\Delta Q_m} \right\} = -\frac{(1+m_1)^2}{k_1 \cdot q} \cdot t \quad \dots \dots \dots (48)$$

と変形されるので、半対数紙上に変動実績データをプロットすれば、それらが一つの直線上にのるはずで、そのこう配から m_1 と k_1 の関係を定めることができる。

4. わが国都市における上水需要変動の分析と考察

これまで、上水の需要変動を解析する意図、総括的な需要特性の表示および公式の実用化について、主として理論的に検討してきたので、以下においては、これらの考え方によってわが国都市の上水需要の実状を分析するとともに、あわせて理論式の妥当性の裏付けを行なっ

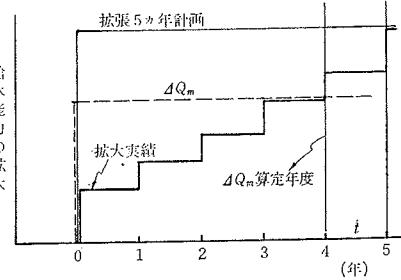
てみる。

考え方の根底には、各需要者の水に対する経済的あるいは感覚的評価にもとづく需要水量変動が、都市のような需要集団においても巨視的に現われるとしているので、浄水場の配水実績から得られる水量変動は、必ずしもここでいう需要水量変動とはいえない。そこで給水実績のうち有収水量を需要水量とみなす。また変動原因としては給水能力増強の場合に限ってとりあげることにする。拡張以外による変動（景気その他）を補正する必要もあって、水量の時間単位としては1年とする。

式(46), (47)の実用式を用いるに際し、拡張規模 ΔQ_m の取扱いについて若干の問題がある。すなわち、実情では大部分の都市において、年々小規模の拡張が行なわれて、一定年月を経てはじめて所期の計画目標に達する場合が多い。しかしここでは、計画目標規模を細分することなく、一括して初年度の拡張幅 ΔQ_m とみなした。たとえば、図-2に示すように、実際は実線のごとく拡張

図-2 ΔQ_m の算定

Fig. 2 Determination of increased capacity.



が行なわれても、破線のように数年分の拡張をすべて初年度完成のものとして取り扱った。したがって期間をあまり長くとった計算はできないわけで、3~4年にとどめて、分割拡張の影響があまり大きく現われないよう留意した。なお上水道では一般に、5~10年先を目標年度にして拡張計画の行なわれることが多いが、ここではそれにとらわれず、図-2にも示すように、拡張の実績のみを ΔQ_m としてとりあげ、さらに後に示すように、有収水量相当分への補正、景気変動の消去など、二、三の過程を経て計算上の ΔQ_m を定めた。

分析にあたっては、国内全都市³⁾のうち、昭和35年ないし36年に拡張事業に着手し、その後3~4年間その計画目標規模内の拡張を行ない、それ以外の大規模な拡張を行なわなかつた都市をすべて対象とした。これら都市の一例として名古屋市の場合を以下に述べるが、全く同様の計算を他都市についても行ない、これらについては結果だけを示すことにした。

名古屋市は昭和35年度から第6期拡張計画に着手し、昭和40年度にこれを完成したが、この拡張に伴つて需要水量は表-2に示すように増加した。しかし表中の有収水量 Q' または q' の増加は、必ずしも昭和35年度の

表-2 名古屋市における需要水量の増加
(昭和35年拡張)

	昭.35年	36年	37年	38年	39年
有 収 水 量 Q' ($10^6 \text{m}^3/\text{年}$)	116.6	131.6	140.7	154.2	162.3
給 水 人 口 P ($10^3/\text{人}$)	1422	1511	1580	1707	1789
1人当たり有収水量 q' ($\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}$)	81.5	87.0	89.0	90.5	90.8
有 収 率 (%)	69.9	71.2	69.6	71.1	68.7
給水能力利用率 (%)	78.2	93.4	102.2	98.0	99.5

注) Q', q' は Q, q の補正前のなまの実績値

拡張のみによるものとはいえない。一般的にいって需要水量は消費景気が向上するにつれて増大するともいわれる。生活が豊かになり、洗濯機、冷房機、水洗便所、自動車などの普及が最近の水量需要の主要な増加原因であろう。そこで拡張のみの影響による Q の変動を知るために、表-2 の増加量から景気上昇による増加量を差し引いておく必要がある。

表-3 家計における消費景気補正

	昭.35年	36年	37年	38年	39年
[1] 全国個人消費支出(億円)	77 017	89 166	102 420	118 299	134 373
[2] 消費物価係数	348.9	371.1	394.2	419.1	440.5
[3] 実質個人消費支出(億円)	77 017	83 750	90 600	98 600	106 250
[4] 家計景気補正係数	1.000	0.959	0.920	0.877	0.840

注) [1], [2] は「日本の統計」より

$$[3] = [1] \times 348.9 / [2]$$

$$[4] = 77 017 / ([3] + ([3] - 77 017) / 2)$$

表-3 は同期間におけるわが国の消費関係実績を示すが、一つの試みとして同表中に示すような補正係数を定め、これをすべての都市に適用して、需要水量変動から景気変動による水量変動を補正消去した。なお補正の考え方としては、過去の上水需要実績データから考慮して、需要水量が景気に完全に比例して遅滞なく増大するともいえないようなので、一応景気増の半量比例配分方式をとった。

さらにその他の補正として、有収水量を取り扱う以上、有収率自身の変化を補正しておく必要がある。しかし、有収率の変動がすべて実質有収水量の変動によるものともいえず、料金徴集法の変化、計量法の変化、ろう水率の変化、あるいは料金徴集可能な給水人口の増加などによっても有収率が変化するので、ここでも便宜的に、有収率変化の半量比例配分によって、実質有収水量の変動を補正することにした。

表-2 に示した需要水量に上述の二つの補正を加え、なお残された変動量を昭和35年の拡張の影響による変動とみなすこととした。これを表-4に示す。このうち $\Delta Q(t)$ より $\Delta q(t)$ を図示したのがそれぞれ図-3 および図-5 の実線である。

これらデータから需要特性を求めるために、定数 m_1 , k_1 の関係を定めるとともに、これを式(46)に代入して $\Delta q(t)$ の理論値とし、表-4 の $\Delta q(t)$ と比較してみる。

名古屋市では、昭和39年度に周辺小都市の合併ある

表-4 名古屋市需要水量補正值とその変動

	昭.35年	36年	37年	38年	39年
景気補正後有収水量 Q'' ($10^6 \text{m}^3/\text{年}$)	116.0	126.1	129.3	135.2	136.5
拡張による実質需要水量 Q ($10^6 \text{m}^3/\text{年}$)	116.0	125.0	129.5	134.1	137.7
同上 1人当たり需要水量 q ($\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}$)	81.5	82.7	82.0	78.8	77.0
Q の変動量 ΔQ ($10^6 \text{m}^3/\text{年}$)	0.0	9.0	13.5	18.1	21.7
q の変動量 Δq ($\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}$)	0.0	1.2	0.5	-2.7	-4.5

注) 昭和38年データの補正例

$$Q'' = 154.2 \times 0.877 \approx 135.2$$

(表-2 Q') (表-3 $[4]$)

$$69.6$$

$$Q = 135.2 \times \frac{69.6 + (71.1 - 69.6)/2}{69.6 + (71.1 - 69.6)/2} \approx 134.1$$

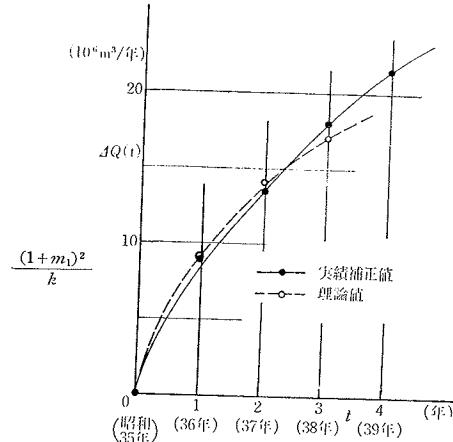
(表-4 Q'') (表-2 の有収率による補正)

$$q = 134.1 \times 10^6 / 707 \times 10^3 \approx 78.8$$

(表-4 Q) (表-2 P)

図-3 名古屋市需要水量変動

Fig. 3 Incremental water demand in Nagoya.

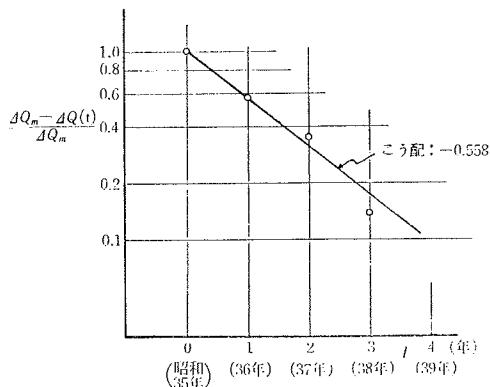


いは料金改定など大きな変化があったので、昭和35年の拡張が需要水量に与えた影響は、昭和38年度までの実績補正値によって求めるべきものと考え、 ΔQ_m を定めるのに昭和38年度の給水能力によることにした。昭和38年度の有収水量相当の給水能力は、表-2 の有収水量と給水能力利用率とから求めることができる。これを昭和35年度を基準として表わすには、前同様に景気補正と有収率補正を行なわねばならない。こうして昭和38年度の実質給水能力 Q_m が求まる。この Q_m と昭和35年有収水量実績との差を ΔQ_m とする。この場合、 $\Delta Q_m = 21.0 \times 10^6 (\text{m}^3/\text{年})$ となる。 ΔQ_m と表-4 の $\Delta Q(t)$ の値によって、式(48)の関係を半対数紙上に描いたものが図-4である。点がわずか4点であるので断言はできないが、現在行なっている総括的分析の精度および各種補正の精度を考えあわせると、式(48)の成立がほぼ証明できるものと思われる。この直線のこう配からつぎの関係を得る。

$$\frac{(1+m_1)^2}{k_1 \cdot q} \approx 0.558$$

表-4 から q の初期値 $81.5(\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年})$ を上の関係に代入して、名古屋市の上水需要特性を表わす m_1 と k_1 の関

図-4 名古屋市における需要水量增加係数の決定
Fig. 4 Data plotting for Eq. (48).

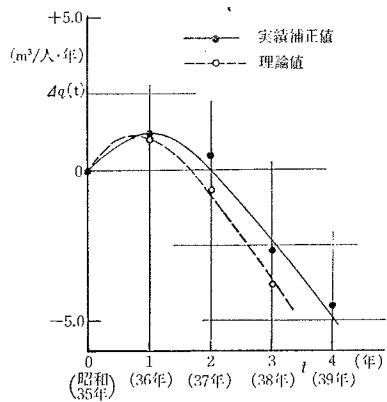


係をつぎのとおり決定することができる。

$$\frac{(1+m_1)^2}{k_1} \approx 45.5. \quad \dots \dots \dots (49)$$

$\Delta Q(t)$ の実績から求めた m_1 と k_1 の値の信頼性を検討するため、式 (49) の値を式 (46) に代入して得られる $\Delta q(t)$ の理論値と表-5 の $\Delta q(t)$ を比較したのが図-5 である。これより式 (49) の関係の妥当性を認めることができる。なおこの値の示す相対的な意味については後に述べる。

図-5 名古屋市1人当たり需要水量変動
Fig. 5 Incremental Individual water demand in Nagoya.

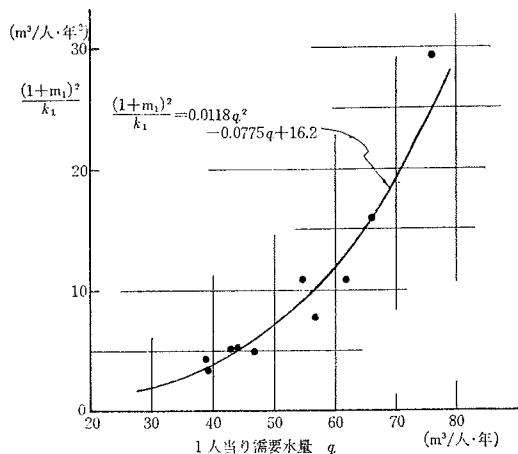


以上、実績データの分析方法をくわしく述べてきたが、つぎに同じ方法でわが国各都市の需要特性を検討した結果を示し、これらの相対的な比較を試みる。

わが国各都市の上水事情は、都市により多種多様であり、上水道に経費を投入して十分な施策をとっているもの、水源に恵まれているもの、給水区域内に工業地域を有するもの、施設の歴史も古く老朽しているもの、安定しているもの、急速な発展途上にあるものなどの特徴がある。

そこで給水人口5万人以上の都市で、昭和35年あるいは36年に上水道拡張を行ない、その後3~4年間新規再拡張を行なわなかった都市をすべて分析対象とした

図-6 わが国標準都市における q と $(1+m_1)^2/k_1$ の関係
Fig. 6 Relationship between q and $(1+m_1)^2/k_1$ in standard cities of Japan.



が、それらの都市の中でも、名古屋市をはじめつぎの条件をすべて満たす都市を一応標準的な都市と考え、分析の結果をわが国的一般的な上水需要特性として評価してみる。

- イ) 上記拡張が浄水場の拡張を含むもの、
- ロ) 家事用需要が総需要の50~80%の都市、
- ハ) 建設費の償却をも含み総給水経費が1500円/人・年以上の都市。

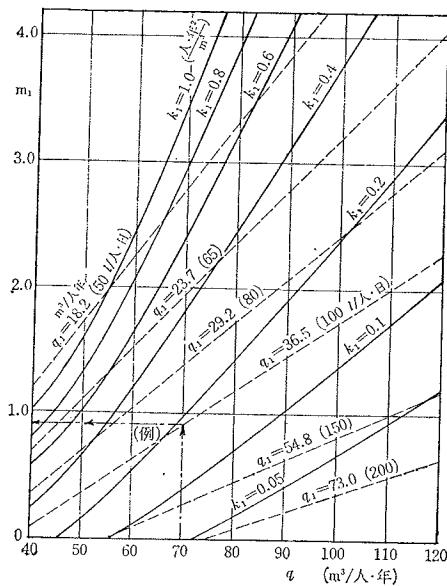
図-6はこれら標準的都市の $(1+m_1)^2/k_1$ と q の関係をプロットしたもので、ほぼ次式の関係を満たしている。

$$\frac{(1+m_1)^2}{k_1} = 0.0118 q^2 - 0.0775 q + 16.2 \quad \dots \dots \dots (50)$$

これより図-7を得るが、図中の実線は式(50)を、破線は近似式、式(41)を表わしたものである。図-7より種々の需要特性を求めることができます。図上たとえば、いま生活用水量 q_1 を $100 l/\text{人}\cdot\text{日}$ と仮定すれば、 $q=70 m^3/\text{人}\cdot\text{年}$ の需要実績の都市で、図より $m_1 \equiv q_2/q_1 = 0.92 \approx 0.9$, $k_1 = 0.18 \approx 0.2$ となる。すなわち余裕水量は生活用水のほぼ9割程度であることがわかり、逆にあらかじめ k_1 の値を設定できれば、 q_1 と q_2 の構成を定量的に把握することができる。この m_1 , k_1 の値については、本文ではその相対的な関係を明らかにするにとどまり、その絶対値を明示することはできない（参考のために、別調査の結果から m_1 値の概略推定値を求めた一例を簡単に記しておく。名古屋市における用途別平均単位需要水量の算定値⁵⁾、たとえば飲料 $2 l/\text{人}\cdot\text{日}$ 、風呂 $55 l/\text{人}\cdot\text{日}$ などのデータから洗濯、掃除、風呂、ちゅう芥処理、自動車洗浄、家庭冷房、雑用の各用途水について一応、水量40%から70%、場合によって圧縮不可能ないわゆる余裕水量が含まれているものと考えると、 m_1 値はほぼ0.5から1.5までの値になるであろうという結果を得た。すなわち、名古屋市の場合一人当たり

図-7 需要特性係数関係図(わが国標準都市の場合)

Fig. 7 Graphic representation of demand characteristics (standard cities in Japan).



需要水量約430 l/人・日のうち、約130~260 l/人・日は生活に不可欠な水量、170~300 l/人・日はその他水量であろうと推定することができた。このように図-7から需要特性を求めるためには未知数を一つだけ設定しなければならず、各未知数の絶対値を求めるることはできないので、図-7は需要特性の相対的な比較に用いるものと理解すべきである。また図-7はわが国の標準的な性格として前記イ), ロ), ハ)の条件を含んでいるので、このいずれかを満たさない場合には改めて分析を行なう必要がある。 m_1 , k_1 値は以上に記したごとく、標準的な都市では一定の関係を認めることができるけれども、各単独 m_1 , k_1 値がこれらの都市に共通して一定しているとは限らないことに注意が必要である。各都市では、それぞれ単位水量 q の値も異なり、式(50)よりこれを容易に認めることができる。また各单一都市にとって m_1 , k_1 値が常に一定とみなしうるかについても10年、20年などの長期にわたっては一定とみなしがたい。生活に関連する生活様式自体が変化するので(たとえば、洗濯機の出現、普及など)、当然変化していくものといえよう。本文では短期0~5年程度では、簡単のため一応一定値として取り扱っている。これら各特性係数の詳細については現在議論するに足るデータに欠けるという意味で今後の研究に待つ点が多い。

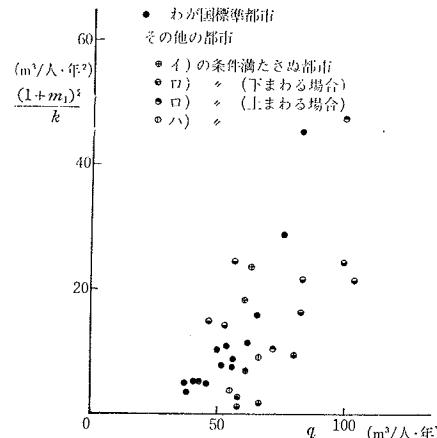
ところで、標準的都市に属さないものの一例として大阪市の場合には、 $(1+m_1)^2/k_1 \approx 47.5$ の結果を得たが、ここで同じく $k_1 \approx 0.2$ とすれば $m_1 \approx 2$ となる。すなわち余裕水量を生活用水のほぼ2倍程度使っており、昭和35年度の q が約300 l/人・日であるから、生活用水

が約1/3の100 l/人・日、余裕水量が200 l/人・日であり、標準都市よりも余裕水量あるいは環境水量がかなり多い使い方をしていることがうかがえる。

ところで、以上のような実際都市についての検討結果を用いて、式(16)から式(18)を、式(34)から式(36)を導いた近似化の精度について簡単に再検討しておく。一例として、式(34)から式(36)を導く場合をとりあげ、式(34)を展開した式(35)の第2項に標準都市について先に示した値を代入してみる。 $k_1 = 0.2$, $m_1 = 0.9$ とするとき、 $k_1 \cdot dq_1/dt \approx 0.034$, $k_1 \cdot d \Delta q_1/dt \approx 0.052$ で、 $(1+m_1) = 1.9$ に対し約4.5%に過ぎず、式(35)を式(36)のごとく近似化することを容認することができよう。なお、この $k_1 \cdot dq_1/dt$ の値を式(12)などにおいても考慮すれば、式(41)の近似表示も実用的に十分であることがわかる。

図-8 わが国各都市における q と $(1+m_1)^2/k_1$ との関係

Fig. 8 Relationship between q and $(1+m_1)^2/k_1$ in various cities of Japan.

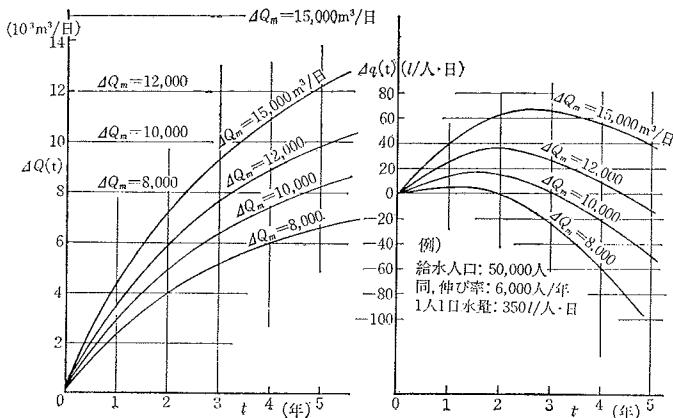


大阪市の例(家事用水が全体の50%以下)を含め、先のイ), ロ), ハ)の条件を満たしていない、すなわち標準的でない都市の需要分析では、 m_1 と k_1 の関係が図-8に示すような結果となった。各都市がいかなる条件によって標準的でないかはそれぞれ異なっており、各場合のデータ数の制限から式(50)のような普遍的な関係を得るには至っていないが、一般的には $(1+m_1)^2/k_1$ の値は q の増加とともに大きくなることが確認できる。

以上のように需要特性を明らかにすれば、種々の応用ができる、上水道の計画・管理などに数多くの新しい考慮を払うことはいうまでもない。最後にその応用の一例を簡単に示しておこう。

給水人口50 000人、給水人口の伸びが6 000人/年、需要水量350 l/人・日の都市で、給水能力の拡張を計画するにあたって需要条件を調査したところ、標準的な需要であることが明らかになれば、その拡張規模をつぎの

図-9 標準都市における拡張と需要水量変動の計算例
Fig. 9 Examples of predicted demand variation in standard cities.



ように検討することができる。

有収率を一定とし、式(50)より $(1+m_1)^2/k$ の値を求め、この値によって式(46)、(47)を図示すれば、種種の拡張規模 (ΔQ_m) の場合、図-9のように需要増を予測することができる。 $\Delta q(t)$ の図から、1人当り需要水量を増加させない方針であれば、計画年数が3年のときは $10,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 、4~5年では $12,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 程度が適切であり、この都市で $15,000 \text{ m}^3/\text{日}$ もの拡張を行なえば、従来にくらべてどちらかといえばむだな需要を誘発し、1人当り需要水量が増していくことを推測することができる。なお家計の消費景気に変動がある場合には、 $\Delta Q(t)$ の曲線を前述の方法などで補正し、それに応じて $\Delta q(t)$ の曲線をも補正すれば、全く同様にして拡張規模を検討することができよう。

このようにして需要の特性を把握して上水道の計画・管理を行なうことができれば、多くの点に改善が考えられ、現状を正しく認識するとともに、将来にわたっての適正な上水道運営も可能となるものと思われる。

5. 結 論

以上、上水の総括的な需要特性の分析法を中心として述べてきたが、とくに本文では、変動時に特性が明確に現われてくるという考え方に対し、需要の動的な挙動に注目したものである。そこで給水能力の拡大に伴う需要変動に重点をおき、わが国の全都市から分析可能な限りの都市をとりあげ、理論的分析法のうち、最も簡単で実用的な方法を実例として適用してみた。

本文に述べた主要事項を要約すれば、およそつきのとおりである。

- 1) 上水の需要特性は、需要水量を動的にとらえて、その変動特性を追求することによって、ある程度定量的にも明らかにすることが可能である。
- 2) 需要水量の変動特性を明らかにするためには、全

需要水量よりも1人当り需要水量の変動値に注目しなければならない。

3) 問題を巨視的にとりあげる限りにおいては、需要を生活に必要不可欠な用水と必ずしもそうでない用水とに分割して考察するのが有効で、この両者の関係を第3章に示したようになるべく簡単な数式モデルによって表示すれば、需要の動的な追跡が可能になる。その理論的方法を具体的に述べるとともに、実際に妥当な結果の得られることを示した。

4) わが国において、各都市の上水道事情が異なれば、その需要特性も変化するものであることを指摘することができるが、ただし、平均的ないしは標準的な上水道を備

えた都市での上水需要変動特性には、1人当り水量値によって比較的規則性のある傾向(式(50)に示す)を認めることができた。これら都市では1人当り有収水量がほぼ同じであれば、需要変動の様子あるいは需要の特性をほぼ同等にみなすことが可能である。

5) 上述の標準的な都市での上水需要特性を図-7のように表示し、相対的にではあるが特性を定量的に把握できるようにした。

6) このような需要特性の把握は、上水道の長期的管理・設計などにきわめて有効であることを指摘し、簡単な実例をも示した。

最後に本研究を通じて指摘できる若干の問題点にふれておく。これら一連の検討においてとくに重要なことは、総括的分析であることを考慮して、かなり大胆な仮定や近似などを行なっているので、用いるデータも当然総括的な実績値に限られ、得られる結果も都市全体としての長期的な特性把握にとどまることである。さらに今後の問題点として、主変動以外の変動を実績データから補正消去する方法、あるいはこれら変動を同時に取り扱う方法を開発するとともに、また q を q_1 と q_2 に二分したが、従来こういった角度からの分析は少なく、裏付け資料の集積も必要である。

しかしながら、上水道の需要特性に対し、新しい角度からの新しい方法を示すことができたので、とくに上水道の将来に与える効果は、合理的な計画および水量配分の基本方針の策定が可能となる意味で決して小さくないと考えている。したがって、今後さらに実績資料の特性分析を重ねて都市の上水需要特性を明らかにしてゆくとともに、分析方法自体もさらに精度を高め、適用あるいは利用範囲を拡大してゆく予定である。

本文を終るにあたり、本研究は終始、京都大学工学部衛生工学教室 合田 健教授、末石富太郎教授の指導のもとに行なわれたものであり、とくに末石教授から直接多

大の助言を得たことを付記し、両教授に心から感謝の意をあらわす次第である。

参考文献

- 1) F.P. Linaweaver Jr. and J.C. Geyer : Use of Peak Demands in Determination of Residential Rates, JAWWA, Vol. 56, No. 4, p. 403 (1964).
- 2) D.F. Dunn and T.E. Larson : Relationship of Domestic Water Use to Assessed Valuation, with Selected Demographic and Socioeconomic Variable, JAWWA, Vol. 55, No. 4, p. 441 (1963).
- 3) 日本水道協会：上水道統計，昭和34, 35, 36, 37, 38, 39年度。
- 4) C.W. Howe and F.P. Linaweaver, Jr. : The Impact of Price on Residential Water Demand and Its Relation to System Design and Price Structure, Water Resources Research, Vol. 3, No. 1, 1967.
- 5) 日本水道協会：東京都水道の使用水量調査，昭和42年3月。

(1967.12.4・受付)