

渇水の地域的特性とその要因構造分析

池淵 周一・嶋田 善多

REGIONAL CHARACTERISTICS OF DROUGHT AND THEIR FACTOR ANALYSIS

By *Shuichi* IKEBUCHI and *Yoshikazu* SHIMADA

Synopsis

In this paper, firstly we choose the percent-day of water supply control as an index of severity of drought and find out the relationship among the percent-day index and climatic, hydrological, socio-economical factors and the degree of progress of water resources development, based on multiple regression analysis. Secondly we collect the occurrence and non-occurrence urban areas of drought and do search the reason why the drought occurs in one area and does not occur in another area, based on discriminant analysis. Lastly we apply those analyses to the drought at 1978.

1. はじめに

昭和53年の異常渇水は全国的なもので、給水制限を実施した上水道企業体は **Fig. 1** のとおりである。埼玉、山陽地方、北部九州を中心に水不足が発生し、なかでも福岡市は昭和53年5月20日から昭和54年3月24日までの287日間に及ぶ給水制限が行われ、給水制限 $\%$ ・dayにして8503 $\%$ ・dayという過去に例をみない厳しいものであった。いま、渇水の発生した都市の給水制限 $\%$ ・day (**Table 1**)と降雨量の関係を調べてみると、**Fig. 2**, **Fig. 3**にみられるように、渇水期間の1・2ヶ月前で70%、1ヶ月前で60%から50%の平年比を下回ったとき渇水が発生していることがわかる。

つぎに、気候特性が比較的似ている山陽地方および福岡県、愛媛県を対象に、渇水の発生した都市と渇水の発生しなかった都市 (**Table 2**)での水需要増大期である5～8月の降雨量をみてみると、渇水の発生した都市は発生しなかった都市に比べ、ダム貯水期5・6月と水需要期7・8月の降雨量の差が大きいたことが見出される (**Fig. 4**)。

さて、渇水の発生および発生してからの渇水の厳しさはどのようなもので説明されるのだろうか。

戦後の経済成長とともに、産業や人口の都市への集中化が起こる。そのうえ産業および都市生活は水多消費型に移行し、水需要の急激な増大が生じた。それに対し、追従すべき水資源開発のほうは、近年、ダムの水没補償や環境問題などで遅々としてはかどらない状態である。また、河川水に比べれば、比較的安定した取水ができる地下水も地盤沈下のために規制されている状況である。このような状況下において、工業用水は回収率を高め、再利用が心懸けられている。ところが蛇口をひねれば思う存分水が使える、そして安価であるといった環境におかれている都市生活者には、水不足の危機感も薄く、節水意識も低い。このような水に対する感覚が、都市用水の需要に拍車をかけ、都市を水不足の方向へ進ませている原因でもある。こういった水不足に異常気象が絡み、渇水が発生すると思われる。だが、必ずしも同一条件で同程度の渇水が発生しているわけではない。気候特性、水資源の保有量(ダム貯水量、大川川の有無、集水面積、地下水)、社会的背景(主要産業、人口)、水道設備(上水道普及率、水道料金)などの都市の持つ性格は、都市ごとに千

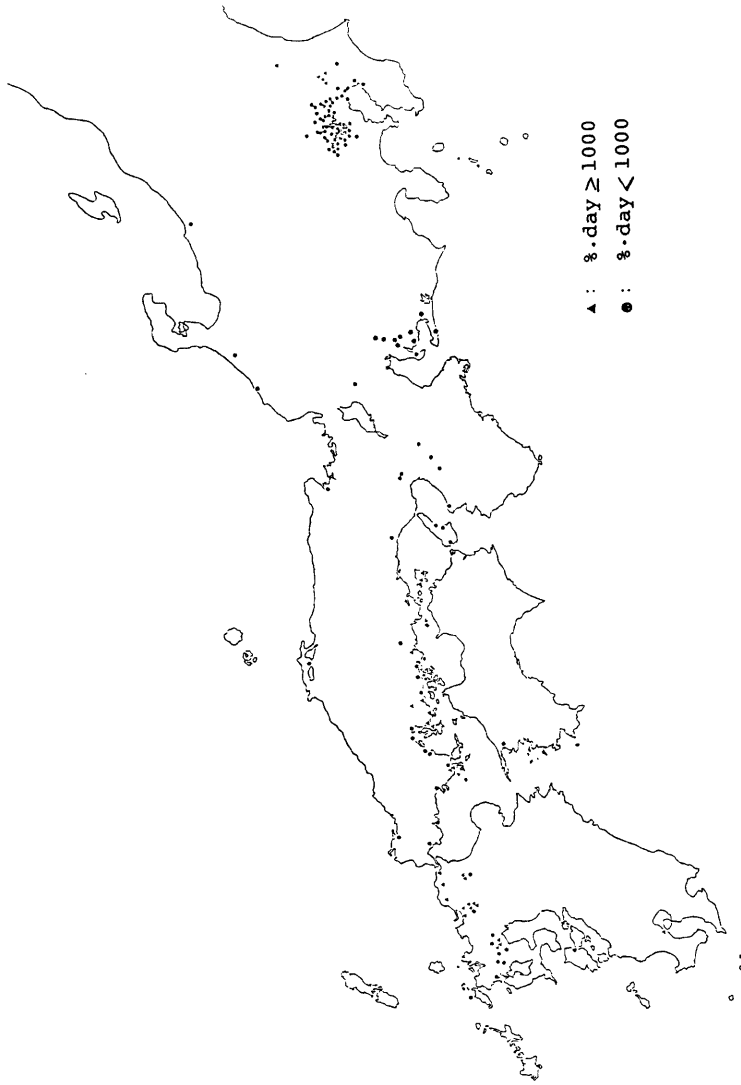


Fig. 1. Location of cities or towns suffered by drought.

差万別であり、水需要形態にもそれぞれ地域的特性があるはずである。このような都市の持つ性格のなかに渇水が発生させたり、発生してから厳しい状態に落とし込んだりする背景があり、渇水に対する脆弱な体質が潜んでいると思われる。この脆弱な体質すなわち渇水の要因構造を把握してからのちに、水資源開発、地下水の保全、雑用水道の設置などの渇水対策を施すほうが、より適切でかつ有効な手段となることは明白である。

Table 1. Cities or towns suffered by drought and their % day.

No.	Tokyo prefecture	%·day	No.	Ibaraki prefecture	%·day	No.	Hiroshima prefecture	%·day
1	Tachikawa	474	34	Ibaraki, s	1300	57	Kure	713
2	Musashino	474		Niigata prefecture		58	Ohtake	325
3	Mitaka	474				59	Fukuyama	1180
4	Chofu	474	35	Johetsu	540	60	Onomichi	498
5	Hamura	474		Ishikawa prefecture		61	Takehara	980
	Chiba prefecture		36		Kaga	112	62	Mihara
6		Narashino			Aichi prefecture		63	Itsukaichi
7	Narita							Okayama prefecture
	Saitama Prefecture		37	Owariasahi	600	64	Ihara	
				38	Kariya	930		Shimane prefecture
8	Saitama, s	780	39	Aichichubu	220	65	Matsue	
9	Kawagoe	780	40	Anjoh	360		Ehime prefecture	
10	Kawaguchi	780	41	Chiryu	480	66		Yawatahama
11	Tokorozawa	780	42	Kohda	720		Fukuoka Prefecture	
12	Iwatsuki	780	43	Nishimikawa	240	67		Fukuoka
13	Kasugabe	780	44	Toyohashi	430	68	Kitakyushu	2128
14	Sayama	780		Osaka Prefecture		69	Ohnojoh	1197
15	Sohka	780	45		Ikeda	870	70	Tsukushino
16	Koshigaya·Matsubuse	780	46	Kawachinagano	860	71	Tagawa	1725
17	Warabi	780	47	Misaki	1954	72	Kasuga·Nakagawa	1725
18	Toda	780		Kyoto Prefecture		73	Dzaifu	7558
19	Iruma	780	48		Miyazu	736	74	Mizumaki
20	Hatogaya	780		Hyogo prefecture		75	Munakata	2625
21	Asaka	780	49		Sumoto	2203		Saga prefecture
22	Niiza	780	50	Himegi	194	76	Saga	
23	Shiki	780		Nara prefecture			Nagasaki prefecture	
24	Wakoh	780	51		Nara	340		77
25	Yashio	780	52	Kashiba	1420		Kumamoto prefecture	
26	Fugimi	780		Yamaguchi prefecture		78		Hondo
27	Kamifukuoka	780	53		Yanai	3199		Kagoshima prefecture
28	Misato	780	54	Onoda	890	79	Kagoshima	
29	Ageo	780	55	Sanyoh	1902			
30	Ohi	780	56	Tokuyama	905			
31	Miyoshi	780						
32	Showa	780						
33	Yoshikawa	780						

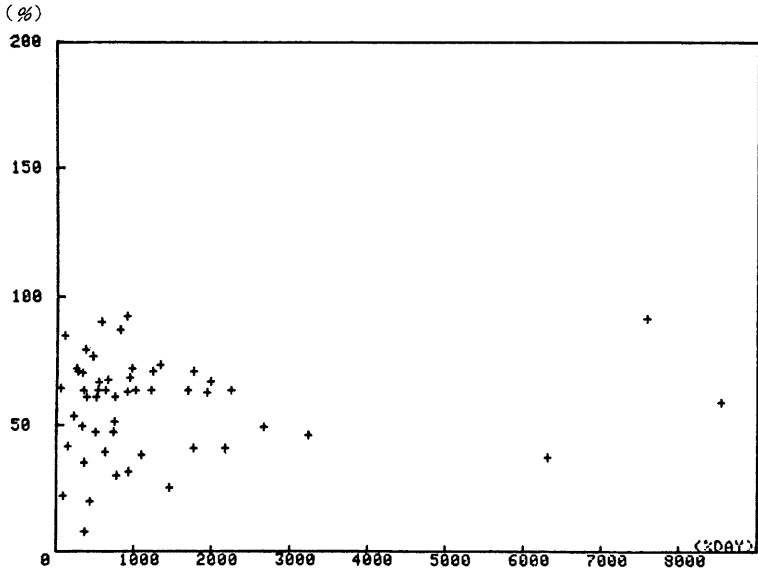


Fig. 2. Relationship between % day and ratio of precipitation of year 1978 to one of normal year (sum of one and two months before drought)

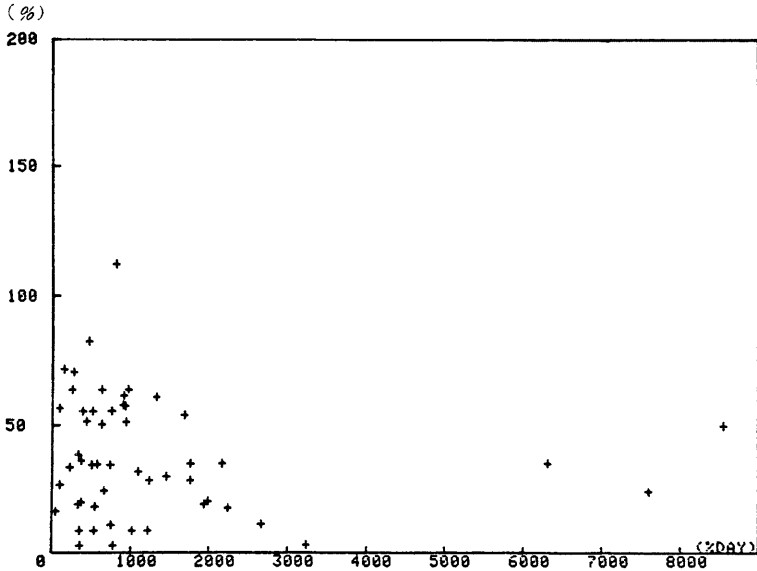


Fig. 3. Relationship between % day and ratio of precipitation of year 1978 to one of normal year (one month before drought)

Table 2. Cities or towns suffered and not suffered by drought.

No.	Prefecture	City and town suffered by drought	No.	City and town not suffered by drought
1	Okayama	Ihara		
2	Hiroshima	Kure	21	Kannabe
3		Ootake	22	Fuchu
4		Fukuyama	23	Yasuura
5		Onomichi	24	Kumano
6		Takehara	25	Hatsukaichi
7		Mihara	26	Ohno
8		Itsukaichi		
9	Yamaguchi	Yanai	27	Iwakuni
10		Onoda	28	Hikari
11		Sanyoh	29	Shinnanyoh
12		Tokuyama	30	Hohfu
			31	Ube
13	Ehime	Yawatahama	32	Ohzu
			33	Matsuyama
			34	Imabari
			35	Niihama
14	Fukuoka	Ohnojoh	36	Ashiya
15		Tsukushino	37	Okagaki
16		Tagawa	38	Nakama
17		Kasuga・Nakagawa	39	Nougata
18		Dazaifu	40	Koga
19		Mizumaki	41	Sasaguri
20		Munakata	42	Iizuka
			43	Miyata

渇水に対する脆弱な体質を探るにしても、いろいろな観点からの探究があると思う。そこでまず渇水の問題点を次にあげてみる。

- (1) 渇水が発生した場合、渇水の厳しさはどのような指標で説明されるか。
- (2) 渇水が発生するか否かは、どのような指標に起因するか。
- (3) 水需要形態および水環境の変化に対して、渇水の本質および渇水の与える影響がどのような時系列変化をするか。

以上の3点をすべて含む時・空間的な観点から、要因構造分析をすることが望ましいが、本研究では、昭和53年時点での渇水規模と渇水発生パターン、言い換えると渇水の厳しさ、渇水が発生するか否かの2点を重視し、地域的特性をふまえた要因構造分析を試みる。すなわち、昭和53年に渇水災害の生じた福岡など約80都市の社会・経済指標、水需給・水資源指標および水文指標を、渇水規模に注目して重回帰分析し、「渇水の厳しさ」というものがどういう要因で説明されるか、また渇水発生パターンという観点から判別関数を用いることにより、渇水の要因構造を探る。それぞれの結果から、渇水の地域的特性および都市のもつ渇水に対する脆弱な体質を把握し、渇水の定義の明確化とともに渇水対策にいくつかの指針を与えようとするものである。

2. 渇水規模からみた要因構造分析

具体的には、昭和53年渇水を対象に給水制限%・dayを非説明変数においた重回帰分析を行い、得られた重回帰式から、渇水の要因構造分析および地域分類へと展開していく。

2.1 データの収集と収集期間

昭和53年における上水道事業の給水制限は約120カ所で行われた。そのうちの79都市を対象に分析を進める。(Table 1を参照) また、分析に用いる指標(変数)はTable 3に示す32変数である。昭和51~53年までがデータとしてそろう変数には、Table 4に示すように、渇水前年度および渇水年度における実績、絶対的な伸び、相対的な伸びと6種類に加工し、できるかぎり変数に幅をもたすようにする。データがそろわない変数には、昭和50年から52年のうちに得られる年のデータを用いる。以後、変数の説明などで、加工法は(53)という形で示し、数字は年度を表わすことにする。また、原単位、給水量、取水量など給水関係指標については、非説明変数である給水制限%・dayが給水量から算定されるので、渇水年度の加工変数を用いないことにする。

なお、有効貯水量のデータについては、単一の水道事業体でダムを管理していることは少なく、たいいては複数の水道事業体もしくは県、国が管理しているので、利水量か52年度の県からの給水量から逆算して得たものである。

2.2 重回帰分析の適用

給水制限%・dayを非説明変数として、変数増加法で32変数を順次説明変数に加えていったときの重相関係数はFig. 5のような動きを示す。7変数で重相関係数80%を超えるが、どのあたりで変数を打ち切るかをF検定で行うことにした。変数の増加とF値を示したのがTable 5である。Fの基準値を2とし、第8変数まで有意とした。

規準化するまえのデータから得られた重回帰式は、

$$y = 92.702 + 0.104x_1 + 4.783x_2 - 1.842x_3 - 0.016x_4 + 11.717x_5 - 13.493x_6 - 2117.650x_7 - 641.515x_8 \dots\dots\dots(2-1)$$

ただし、y: 給水制限%・day, x₁: 商品販売額(52), x₂: 水道料金(53), x₃: 給水人口(53), x₄: 1日あたりの水道支出(52), x₅: 原単位(52), x₆: 耕地面積(53), x₇: 地下水を取水源とする割合(52), x₈: 取水量(52/51), となり、また規準化されたデータから得られる重回帰式は次式のようなになる。

$$y = 1101.4 + 1037.3x_1 + 1721.8x_2 - 340.4x_3 - 1377.4x_4 + 760.9x_5 - 266.0x_6 - 186.6x_7 - 208.1x_8 \dots\dots\dots(2-2)$$

この式による推定値と実測値を表わしたのがFig. 6であり、1000%・day以下、とくに700%・dayと福岡の8503%・dayがよく合っているが、2000%・day~7000%・dayの範囲ではいくぶん適合度がよくないようである。

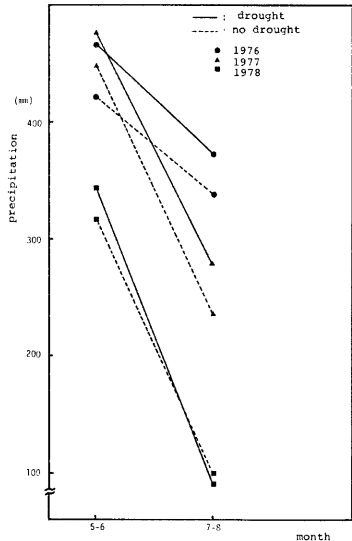


Fig. 4. Comparison of precipitation in the area suffered by drought with one in the area not suffered.

Table 3. Summary of explanatory variables chosen for multiple correlation analysis

No.	Name of variables
1	Population supplied for water ($\times 10^8$ persons)
2	Percentage of all the houses which have supplied water (%)
3	quantity of water intaken ($\times 10^4$ m ³)
4	the per capita daily consumption of water (l/person·day)
5	annual amount of water supplied ($\times 10^4$ m ³)
6	amount of domestic water use ($\times 10^4$ m ³)
7	water rate (yen/20 m ³)
8	quantity of ground water intaken ($\times 10^4$ m ³)
9	quantity of water received from filtration plant ($\times 10^4$ m ³)
10	load factor (%)
11	expenditure for water per household (yen)
12	rate of domestic water use to quantity of water intaken (%)
13	rate of ground water to quantity of water intaken (%)
14	rate of quantity of water received from filtration plant to quantity of water supplied (%)
15	rate of water intaken except river water to quantity of water intaken (%)
16	active storage volume of reservoir ($\times 10^4$ m ³)
17	active storage volume of reservoir per capita ($\times 10^4$ m ³ /1000 persons)
18	active storage volume of reservoir per household ($\times 10^4$ m ³ /1000 households)
19	population ($\times 10^3$ persons)
20	the daytime population ($\times 10^3$ persons)
21	amount of industrial shipping ($\times 10^8$ yen)
22	commercial sales ($\times 10^8$ yen)
23	density of population (1000 persons/km ²)
24	number of household ($\times 10^3$ households)
25	average population per household (persons/household)
26	cultivated acreage (km ²)
27	rate of cultivated acreage to land area (%)
28	precipitation minus evapotranspiration ($\times 10^8$ m ³)
29	ratio of precipitation of year 1978 to one of normal year (%; one month before drought)
30	ratio of precipitation of year 1978 to one of normal year (%; two months before drought)
31	ratio of precipitation of year 1978 to one of normal year (%; sum of one and two months before drought)
32	ratio of precipitation of year 1978 to one of normal year (%; all over the duration of drought)

2.3 地域分析と考察

(1) 重回帰式による変数の意味づけ

式(2-2)にもとづいて、各変数の意味づけをすることによって、渇水の厳しさが都市のどのような性格で反映されるかを明らかにする。偏回帰係数が正であれば、その対象変数の値が大きくなるにつれ、渇水の厳しが増し、負であればその逆となる。

① 商品販売額(52) 符号：正

商品販売額は第3次産業の規模を示し、このサービス業の繁盛が都市活動の活発化につながるといえる。よっ

Table 4. Processing of variables.

	Processing
1	1977
2	1978
3	1977-1976
4	1978-1977
5	1977/1976
6	1978/1977

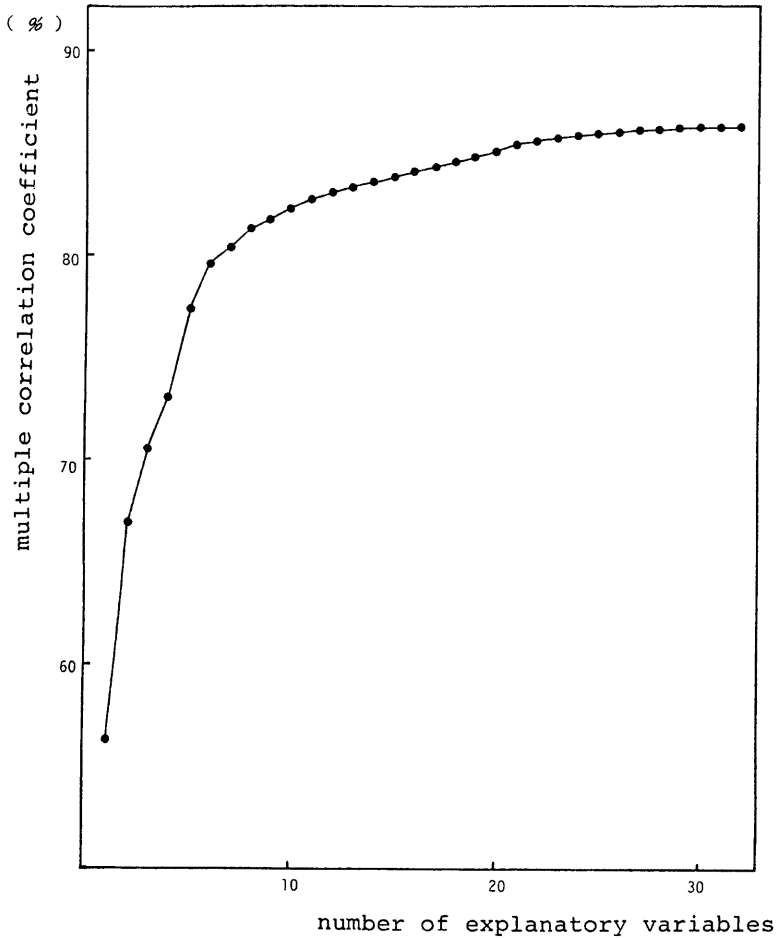


Fig. 5. Multiple correlation coefficient with forward selection of explanatory variables.

て、都市活動の活発なところほど漏水は厳しい。

② 水道料金 (53) 符号：正

水道料金が高いということは、水道水を製造するコストが高いわけで、取水がしにくいもしくは水源が汚濁していて費用がかかると考えられる。よってきれいでかつ豊富な水資源に恵まれない地域ほど漏水は厳しい。

③ 給水人口 (53) 符号：負

給水人口の大きい都市ほど、給水施設が整備され、水源地手当を施す能力を備えていて、漏水に対して強い。

④ 1日あたりの水道支出 (52) 符号：負

Table 5. Variables chosen, their multiple correlation coefficient and value of F-test.

	Name of variables	multiple correlation coefficient	Value of F-test
1	commercial sales (1977)	0.564	—
2	water rate (1978)	0.670	18.30
3	population supplied for water (1978)	0.706	7.48
4	expenditure for water per household (1977)	0.731	5.93
5	the per capita daily consumption of water (1977)	0.774	11.80
6	cultivated acreage (1978)	0.796	6.98
7	rate of ground water to quantity of water intaken (1977)	0.804	2.54
8	quantity of water intaken (1977/1976)	0.813	3.12
9	quantity of water supplied (1977-1976)	0.819	1.83
10	precipitation minus evapotranspiration (normal year)	0.823	1.44

水道支出の少ない都市ほど、水の大切さという意識に欠けやすく、漏水が発生しても漏水に対する反応が遅く、漏水に拍車がかかると思われる。

⑤ 原単位 (52) 符号：正

原単位が大きいほど、水多消費社会であり、絶対的な水需要が大きく漏水にもろい。

⑥ 耕地面積 (53) 符号：負

耕地面積の大きい地域は、農業用水との合理的な運用も可能であり、都市自身の貯留能力も大きく、さらに、農村型水需要形態で水多消費型ではないので、耐漏水性に富む。

⑦ 地下水を水源とする割合 (52) 符号：負

地下水の割合が大きければ、安定した取水ができることを示し、漏水に強い。

⑧ 取水量の伸び (52/51) 符号：負

取水量の伸びが大きいということは、水需要の伸びに応じた水量が確保できるのに対し、伸びが小さいということは、現在与えられている水資源でまかなわねばならない状況を示すのではないと思われる。よって伸びの大きい地域は、水資源に恵まれ、漏水に強いといえよう。

(2) 漏水の地域的特性

漏水の厳しさは、先に述べたそれぞれ異なる意味の変数 8 個で説明されると仮定すれば、各都市ごとに各変数の重みは違うわけだから、各都市の変数の重みを調べることによって、それぞれの漏水に対する脆弱な体質を把握するとともに地域分類することも可能となる。地域分類した結果は、以下のとおりである。

(I-1) 福岡

他の因子にも漏水の大きな要因となるものがあるが、第 1 変数の影響度がきわめて強い。九州の中核都市であり、都市活動の規模による漏水の性格が強い I 型の典型的な例といえよう。

(I-3) 埼玉南、姫路、北九州

給水人口が多く、水道施設（水源地も含めて）が整備されているが、都市活動とのバランスがとれていない。

(I-4) 鹿児島

都市活動が活発で、水道支出も小さく、水に対する感覚が鈍い。

(II-2) 岩槻、富士見、知立、宮津、春日、那珂川、本渡

水の生産コストが高い。取水源に恵まれない地域。

(II-6) 茨城南

土地の貯留能力、農業用水にも恵まれているが、取水源に問題がある。

(II-7) 幸田、奈良、香芝、尾道、大野城、大宰府、宗像

取水源に恵まれず、そのうえ他の都市に比べ、地下水への依存度も低い。

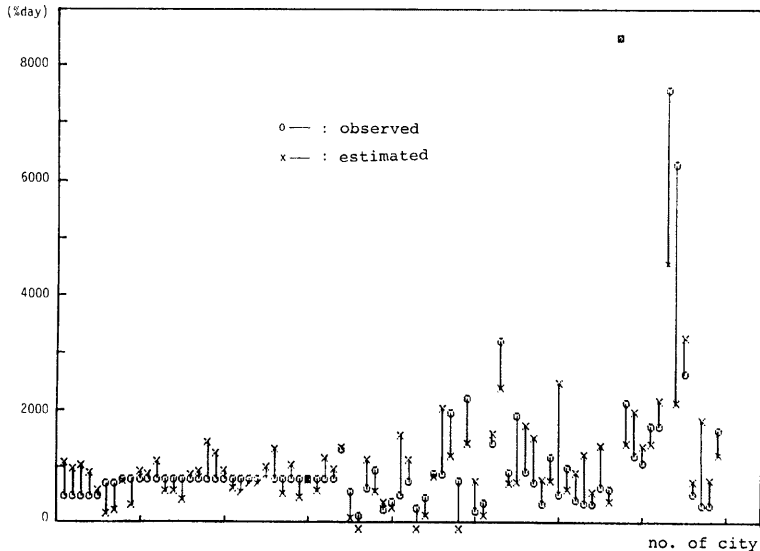


Fig. 6. Comparison between observed and estimated (by multiple regression analysis) values of %day.

(Ⅲ-7) 川口

上水道施設が整備されているが、地下水への依存度が低い。

(Ⅳ-4) 羽村, 成田, 春日部, 庄和, 井原

水道支出が小さく、水が資源であるという意識を欠如させる背景がある地域。

(Ⅳ-6) 川越, 安城, 西三河, 豊橋

水に対する意識を欠如させる背景があるが、農業用水に恵まれている。安城などは農業都市であり、典型的な例といえよう。

(Ⅴ-5) 立川, 加賀, 小野田, 山陽, 大竹, 竹原, 三原

水多消費型都市で、水需要形態に問題がある。

(Ⅴ-7) 徳山

水多消費型都市で、地下水への依存度も低い。

(Ⅴ-8) 戸田, 岬

水多消費型都市で、取水源も水需要に対し飽和状態にある。

(Ⅵ-6) 上越, 福山

耕地面積が広く、農業用水、貯留能力に恵まれながらも、他の因子によって渇水が発生した。

(Ⅵ-7) 佐賀

都市自体の貯留能力や農業用水に恵まれているが、地下水への依存度が低い。

(Ⅶ-7) 所沢, 尾張旭, 河内長野, 松江, 筑紫野, 水巻, 佐世保

地下水への依存度が低い地域。

(Ⅶ-8) 洲本, 呉

地下水への依存度が低く、取水源も水需要に対して飽和状態にある。洲本は島の都市であり、また、呉は海岸近くまで山がせり出し、河川水に恵まれていない。

Table 6. Regional classification of cities or towns suffered by drought (based on multiple regression analysis)

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	Fukuoka		Saitama, s Himeji Kitakyushu	Kagoshima				
II		Iwatsuki, Fugimi Chitate, Miyazu Kasuga, Hondo				Ibaraki, s	Kohda, Nara Kashiba Onomichi Ohnojob, Dazaifu Munakata	
		III					Kawaguchi	
			IV	Hamura, Narita Kasuga, Shohwa Ihara		Kawagoe, Anjoh Nishimikawa Toyohashi		
				V	Tachikawa Kaga, Onoda Sanyoh, Ohtake Takehara, Mihara		Tokuyama	Toda, Misaki
					VI	Johetsu Fukuyama	Saga	
						VII	Tokorozawa Owariasahi Kawachinagano Matsue Tsukushino Mizumaki, Sasebo	Sumoto, Kure
							VIII	Tagawa

(Ⅶ-8) 田川

取水源が水需要に対して飽和状態となり、余裕がない。

これらは、8因子のうちでも、強く作用している都市について分類したもので、ここにでてこない都市は、8因子それぞれが少しずつ作用して、渇水が発生していると考えられる。この分類をまとめたのが **Table 6** である。

3. 渇水発生パターンからみた要因構造分析

つぎに瀬戸内を中心とする地域を対象として、渇水が発生するか否かは、どういう因子によって説明されるかを判別関数法によって探る。

3.1 判別関数法

判別関数法とは¹⁾、2つの群(ここでは、渇水の発生した都市群と発生しなかった都市群)があって、それぞれの群に属する要素のすべてに、 (x_1, x_2, \dots, x_K) という特性値が対応するとき、この特性値の一次結合

$$z = l_1x_1 + l_2x_2 + \dots + l_Kx_K \quad \dots\dots\dots(3-1)$$

を判別関数として用いる。この値 z によって、2つの群が最もよく判別できるように、 l_1, l_2, \dots, l_K の値を決める。

いま、2群に属する要素について z の値が求まっていると仮定して、2群のそれぞれの z の平均値を \bar{z}_1, \bar{z}_2 とする。 z の値によって要素が、いずれの群に属するかをよく判別するためには、各群の z の平均値の差 $\bar{z}_2 - \bar{z}_1$ ができるだけ大きく、かつそれぞれの群の中では z の変動が小さくなっていることが必要である。このため次式に示す尺度 G を考える。

$$G = \frac{(\bar{z}_1 - \bar{z}_2)^2}{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} (z_{ij} - \bar{z}_i)^2} \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

ただし、 n_1, n_2 は1, 2群の要素数である。

結局、この G を最大にするように l_1, l_2, \dots, l_K の値を定めればよい。

なお、判別関数法の適用にあっても、重回帰分析と同様にできるだけ少ない因子でよく判別できるように、変数を増加させながら進める。増加させていくうえでの判断基準としては、変数を増加させることによって、増加前の判別適中率を上回り、かつ2群の重心間のマハラノビスの汎距離すなわち $\bar{z}_1 - \bar{z}_2$ が大きくなるという2点に重点をおく。

すなわち、本研究において、第1変数は、 G ができるかぎり大きく、かつ適中率が1, 2群ともに40%を越えるものを選ぶ。また G は、平均値に左右される部分が大きく、群内に異常値があれば平均値がひっぱられる恐れがあるので、後者の基準を設けた。さらに、変数を絞り込むほうが、式を誘導しやすいので、各変数ごとの G について、0.001以下のものは、有意な差が認められないとして、最初に切り捨てた。

3.2 都市の選択と変数の基本的分析

対象とする地域としては、昭和53年渇水が集中的に発生して、気候特性も似ている山陽地方および福岡県、愛媛県を選んだ。都市の選択については、第1に渇水の発生した都市を20都市用いるので、発生していない都市も23都市と両群の標本数のバランスを考えた。第2に、「水需要は都市の'格'ときわめて関係が深い²⁾」という観点から、格を代表する指標の1つである人口の平均値をできるかぎり近い値をとるように選んだ。また、福岡市および北九州市は、第2の判定基準および発生しなかった都市で100万都市を2つ対応させることはわずかしいので除外した。しかし、得られた判別関数には、これら両都市を適用してみることにする。以上の点をふまえて選んだ都市が、前出の **Table 2** である。渇水が発生した都市、発生しなかった都市の人口の平均値は、71,000人と64,000人である。

次に用いる指標(変数)としては、前述の重回帰分析とほぼ同じ変数を用い、昭和51年から53年までそろう

変数については、6種類 (Table 4 参照) に加工してある。ただ、降水量については、平年比でなく、53年度の降水量の絶対値を使い、すでに述べた5・6月降水量と7・8月降水量の差も変数として加えた。(Table 7)

これらの指標について、まず平均値、標準偏差、および式(3-2)で表わされる G を計算し、その結果、 G が0.001以下となる変数は、判別に有意な差を与えないとみなし、切り捨てた。また、給水量、取水量など給水関係指標については、渇水すなわち給水制限が行われているかいないかによって有意な差が生じるが、

Table 7. Summary of variables chosen for discriminant analysis.

No.	Name of variables
1	population supplied for water ($\times 10^3$ persons)
2	percentage of all the houses which have supplied water (%)
3	quantity of water intaken ($\times 10^4$ m ³)
4	quantity of water supplied ($\times 10^4$ m ³)
5	amount of domestic water use ($\times 10^4$ m ³)
6	water rate (yen/20 m ³)
7	quantity of ground water intaken ($\times 10^4$ m ³)
8	quantity of water received from filtration plant ($\times 10^4$ m ³)
9	population ($\times 10^3$ persons)
10	amount of industrial shipping ($\times 10^8$ yen)
11	commercial sales ($\times 10^8$ yen)
12	the per capita daily consumption of water (l/person·day)
13	precipitation in May (mm)
14	precipitation in June (mm)
15	precipitation in July (mm)
16	precipitation in August (mm)
17	sum of precipitation in May and June (mm)
18	sum of precipitation in June and July (mm)
19	sum of precipitation in July and August (mm)
20	sum of precipitation in May, June and July (mm)
21	sum of precipitation in June, July and August (mm)
22	sum of precipitation in May and July (mm)
23	sum of precipitation in May, June, July and August (mm)
24	precipitation in May and June minus one in July and August (mm)
25	rate of ground water to quantity of water intaken (%)
26	rate of ground water plus water received from filtration plant to quantity of water intaken (%)
27	expenditure for water per household (yen)
28	rate of domestic water use to quantity of water intaken (%)
29	density of population (10 ³ persons/km ²)
30	quantity of water intaken minus ground water ($\times 10^4$ m ³)
31	cultivated acreage (km ²)
32	rate of cultivated acreage to land area (%)
33	active storage volume of reservoir ($\times 10^4$ m ³)
34	active storage volume of reservoir per capita ($\times 10^4$ m ³ /1000 persons)
35	active storage volume of reservoir per household ($\times 10^4$ m ³ /1000 households)
36	the daytime population ($\times 10^3$ persons)
37	number of household ($\times 10^3$ households)

本研究では、都市を渇水に導びく潜在的要因を探ることを主旨としているので、昭和53年度が絡む加工変数は除外した。

3.3 適用と考察

前項で述べた計算手順に従い、判別関数を求めてみたところ、Table 8 のように変数が選ばれた。第5変数の給水人口までを有意とし、渇水が発生するかしないかの判別関数を表わすことにした。判別関数は次のようになり、この式で特性値 z が負ならば渇水が発生し、正ならば発生しないという判別になる。

$$z = 0.089x_1 + 1.659x_2 - 6.425x_3 - 0.002x_4 - 1.548x_5 \quad \dots\dots\dots(3-3)$$

ただし、 x_1 : 1人あたりの有効貯水量、 x_2 : 地下水が取水される割合 (52)、 x_3 : 家庭用水が全用水に占める割合の伸び (52-51)、 x_4 : 5・6月と7・8月の降水量の差、 x_5 : 給水人口の伸び (52/51)

この式によって与えられる各都市の特性値は Table 9 に示す。また、福岡市、北九州市を式 (3-3) にあてはめると

福岡市 ; -2.073, 北九州市 ; -1.390

と渇水の起こる側に判別される。

説明変数の意味づけをすることにより、渇水の発生要因構造を探ってみる。

① 1人あたりの有効貯水量 符号：正

1人あたりの貯水量の多い都市すなわち水資源開発が進んでいる都市ほど、渇水が起こりにくい。

② 地下水が取水に占める割合 (52) 符号：正

値が大きいほど、気象に左右されやすい河川水に頼らずに安定した取水ができ、耐渇水性に富む。

③ 家庭用水が全用水に占める割合の伸び (52/51) 符号：負

家庭用水の需要が伸び、水多消費生活へ移行しつつあるといえる。家庭用水は、工業用水のように再利用できず、渇水時に節水しにくい性質のものである。家庭用水の伸びは、渇水を助長する。

④ 5・6月の降水量と7・8月の降水量の差 符号：負

ダム貯水期の5・6月から、水需要期7・8月への移行における降水量の差が大きいほど、ダム貯水や水源に与える衝撃は、たとえば渇水対応策などの遅れが大きくなり、渇水に作用する。

⑤ 給水人口の伸び (52/51) 符号：負

重回帰式 (2-1) で選ばれた給水人口は絶対値であり、その値が大きければ、水源手当をしたり、渇水に対処したりする能力を示した。判別式で選ばれた給水人口は、伸びについてである。この値が大きければ、給水量の絶対量の増加を避けることはできず、水源の確保が必要とされる地域になる。もし、確保されなければ、渇水は起こりやすくなる。

Table 8. Variables finally chosen based on discriminant analysis.

Variables added	Maharabinos' length	rate of good hit (number of cities hit)	
		drought occurred	drought not occurred
1. active storage volume of reservoir per capita	0.428	0.950(19)	0.438(10)
2. rate of ground water to quantity of water intaken (1977)	0.571	0.750(15)	0.783(18)
3. rate of domestic water use to quantity of water intaken (1977-1976)	0.636	0.750(15)	0.826(19)
4. precipitation of May and June-precipitation of July and August	0.651	0.850(17)	0.783(18)
5. population supplied for water (1977/1976)	0.680	0.900(18)	0.826(19)
6. amount of industrial shipping (1977/1976)	0.682	0.900(18)	0.826(19)

次に変数の増加に伴う特性値 z の動きをみることにより、渇水の発生した都市と発生しなかった都市のそれぞれについて地域的特性を探る。Fig. 7 をもとに分類する。Fig. 7 の正の方向は渇水を抑制、負の方向は助長する方向となる。

① 渇水の発生しなかった都市について (Fig. 7 (a))

N_1 : 新南陽, 宇部, 今治

第1変数の値が1以上であり、有効貯水量にきわめて恵まれている。全体的にも耐渇水性に富む。

N_{12} : 直方

有効貯水量に恵まれ、第2変数の地下水の依存度も大きい。

N_1' : 府中, 松山

有効貯水量に恵まれていたので、渇水から逃れることができたと考えられる。

N_2 : 神辺, 安浦, 廿日市, 大野, 光, 防府, 大洲, 新居浜, 芦屋, 岡垣, 古賀, 宮田

有効貯水量は恵まれていないが、地下水の依存度がきわめて大きい地域。

N_3 : 岩国

家庭用水の占める割合が低く、渇水時に都市用水のうちから、家庭用水にまわす余裕がある。

N_6 : 熊野, 中間, 篠栗, 飯塚

渇水が発生していないにもかかわらず、判別関数では渇水の発生する側に誤判される都市。

Table 9. Applied results for Eq. (3.3) (characteristic value Z)

drought not occurred		drought occurred	
Name of City	Value of Z	Name of City	Value of Z
Kannabe	0.674	Ihara	-0.464
Fuchu	0.545	Kure	-1.190
Yasuura	0.383	Ohtake	-0.633
Kumano	-0.637*	Fukuyama	-0.647
Hatsukaichi	0.520	Onomichi	-1.015
Ohno	0.320	Takehara	-0.737
Iwakuni	0.671	Mihara	-0.171
Hikari	0.064	Itsukaichi	-0.762
Shinnanyoh	2.594	Yanai	-0.725
Hohfu	0.650	Onoda	1.019*
Ube	3.791	Sanyoh	-0.631
Ohzu	0.244	Tokuyama	-1.443
Matsuyama	0.352	Yawatahama	0.292*
Imabari	1.475	Ohnojoh	-0.198
Niihama	0.491	Tsukushimo	-1.487
Ashiya	1.054	Tagawa	-0.805
Okagaki	0.898	Kasuga	-0.217
Nakama	-0.411*	Dazaifu	-1.169
Nohgata	0.754	Mizumaki	-0.927
Koga	0.899	Munakata	-0.802
Sasaguri	-0.594*		
Iizuka	-0.619*		
Miyata	0.515		

* : miss-discrimination

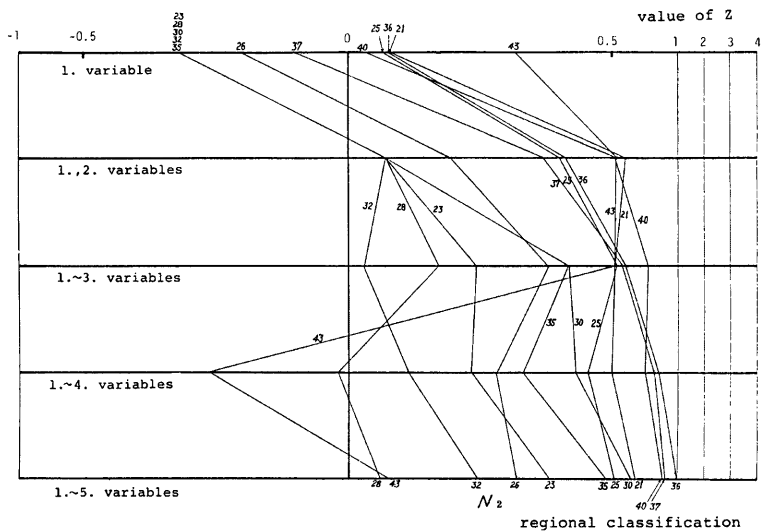


Fig. 7. (a)-1 Behaviour of characteristic value Z (to the areas not suffered by drought)

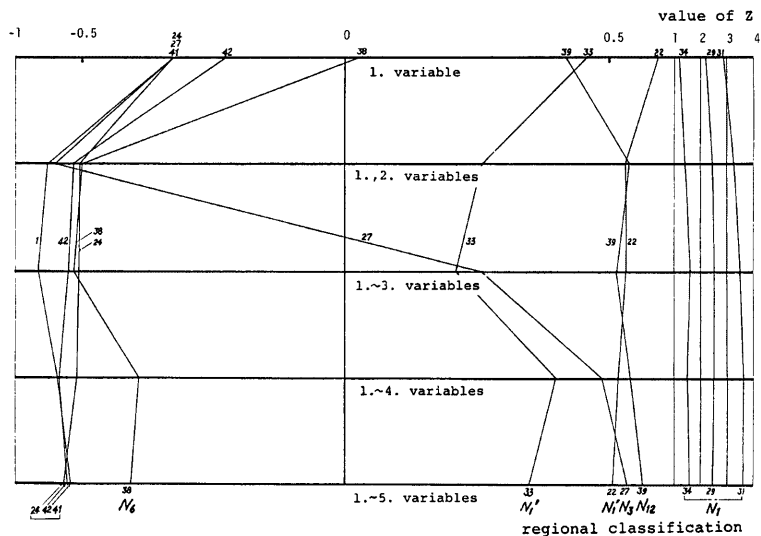


Fig. 7. (a)-2 Behaviour of characteristic value Z (to the areas not suffered by drought)

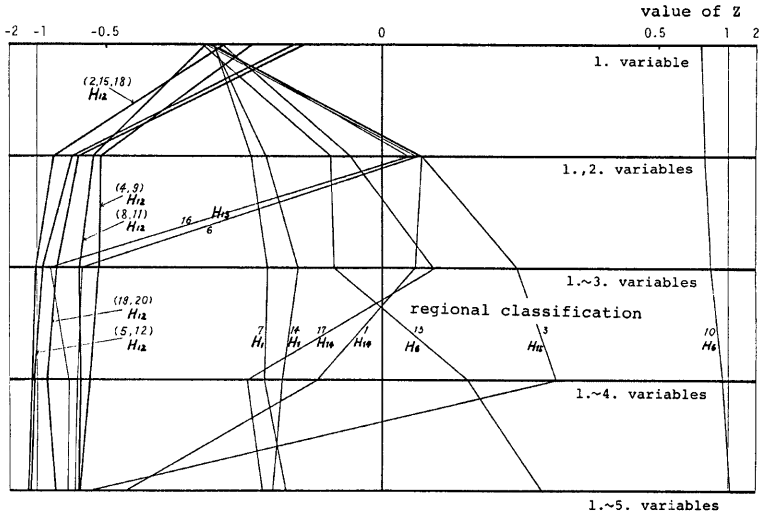


Fig. 7. (b) Behaviour of characteristic value Z (to the areas suffered by drought)

② 渇水の発生した都市について (Fig. 7 (b))

H_1 : 三原, 大野城

第1変数の有効貯水量が少ないだけで、そのほかに問題はない。水資源開発による貯水量の増設をはかることが、渇水対策として有効であると考えられる。

H_{12} : 呉, 福山, 尾道, 五日市, 柳井, 山陽, 徳山, 筑紫野, 大宰府, 水巻, 宗像

有効貯水量が少なく、地下水の依存度も小さい。

Table 10. Regional classification based on discriminant analysis.

classification	Name of City
N_1	Shinnanyoh, Ube, Imabari
N_{12}	Nohgata
$N_{1'}$	Fuchu, Matsuyama
N_2	Kannabe, Yasuura, Hatsukaichi, Ohno, Hikari, Hohfu, Ohzu, Niihama, Ashiya, Okagaki, Koga, Miyata
N_3	Iwakuni
N_6	Kumano, Nakama, Sasaguri, Iizuka
H_1	Mihara, Ohnojoh
H_{12}	Kure, Fukuyama, Onomichi, Itsukaichi, Yanai, Sanyoh, Tokuyama, Tsukushino, Dazaifu, Mizumaki, Munakata
H_{13}	Takehara, Tagawa
H_{14}	Ihara, Kasuga-Nakagawa
H_{15}	Ohtake
H_6	Onoda, Yawatahama

H_{13} : 竹原, 田川

地下水に恵まれるが, 有効貯水量, 家庭用水における耐渇水性に乏しい。

H_{14} : 井原, 春日, 那珂川

有効貯水量が少なく, 5・6月から7・8月への移行における雨量の衝撃度が大きかった。

H_{15} : 大竹

有効貯水量が乏しいうえに, 給水人口の伸びにともなう水の絶対量が必要とされる都市。

H_6 : 小野田, 八幡浜

誤って判別される都市。

以上, ここで用いた特性値から, 渇水が生じた都市, 生じなかった都市を判別したが, 前者においては20都市中2都市, 後者においては23都市中4都市が, 逆の判別をする結果となった。しかし, その割合は小さく, 5つの説明変数からすれば, その判別は十分に機能していると考えられる。そして, 相対的に貯水量に乏しく, 水資源開発を推進させていくことが渇水対策の第1であることを裏づけている。分類は **Table 10** にまとめておく。

最後に, 前章の重回帰式と比較すると, どちらにも地下水の取水量に占める割合が説明変数として使われ, 渇水において, 安定した地下水取水ができるか否かが大きく左右することがわかる。それ以外では共通性に乏しく, 今後地下水を軸として, 渇水発生から渇水の程度までの一貫した構造式の作成が望まれる。

4. おわりに

昭和53年の全国的な渇水災害は過去に例をみないものであった。現在の水需要形態および水資源開発の進捗状況からして, 今後こういった渇水はたびたび発生することが予想される。

本研究では, 予想される渇水への対策をよりの確でかつ適切なものとするために, 渇水の厳しさ(渇水規模)および渇水が発生するかしないか(渇水発生パターン)に重点をおいて, 重回帰分析および判別関数法という手法により渇水をとらえるとともに, 渇水の地域的特性と要因構造の究明を試みた。

その結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 渇水期間の1・2カ月前で平年の70%以下, 1カ月前で60%以下の降雨量しかない場合, 渇水が起こりやすい。
- (2) (1)の条件下で, 有効貯水量, 地下水が取水される割合, 家庭用水の伸び, 5・6月の降水量と7・8月の降水量の差, 給水人口の伸びによって評価される都市の性格が渇水を発生させるか否かを定める。
- (3) 渇水が発生した場合, 商業販売額, 水道料金, 原単位の値が大きければ, 渇水の厳しさに拍車をかけ, 給水人口, 水道支出, 耕地面積, 地下水が取水される割合, 取水量の伸びが大きければ, 厳しさを緩和させる。

今後の課題としては, 上記の結論を一貫した形で表現できる式を構成するとともに, 時系列的に渇水をとらえ, 両者を統合していくことが考えられる。その際には, 降水量の時間スケールの工夫をはかることはもちろんのこと, 渇水指標の改善, 都市の水供給水源に直接かわる降水の集水面積, さらに, もっとこまかく貯水池操作や水のやりとりなど実施された渇水対応策といったデータが収集されることも必要となてこよう。もちろん, こうしたデータの収集が至難であることはいうにおよばないが, 渇水の要因構造を, さらに地域的, 時系列的に詳細な考察をしていくためには不可欠となてこよう。

いずれにしても本研究の成果により, 渇水の要因構造がマクロ的に明らかになり, それは, 水需要構造の是正, 的確な水資源計画の策定など渇水対策への情報として役立つことを確信する。

参 考 文 献

- 1) 亀田弘行・池淵周一・春名攻：確率・統計解析, 土木学会編新体系土木工学2, 技報堂出版, 昭.56. 11, pp. 224-227

- 2) 池淵周一・嶋田善多：水需要の地域的・時間的構造分析，土木学会年次学術講演会概要集，昭. 55. 10. その他データ収集に用いたものとして
- 3) 気象庁：気象月報
- 4) 日本水道協会：水道統計，1975～1978.
- 5) 各県統計年鑑.