

下水道機電設備のマクロマネジメント手法

国土交通省 藤生 和也*¹東京大学 花木 啓祐*²

By Kazuya FUJIIU, Keisuke HANAKI

論文主旨 スtockマネジメントにおいては耐用年数が基本的情報として重要である。下水道施設は耐用年数の観点から管渠、処理場の土木建築施設及び機械電気設備（機電）の大きく3つに分類される。これらのうち機電は極めて多種多様であるので、マクロマネジメントにおいて総体として耐用年数を推計することが困難である。そこで本研究はストック量を金額で数値化することとし、全国総体の機電についてまず下水道統計等から年度別設置事業費を算出し、次にアンケート調査結果の年齢別改築件数分布を再現できるワイブル型耐用年数確率分布を試行反復計算により推計・設定して耐用年数を算出する。さらに、同分布を用いて過去及び将来各年度の改築事業費を推計する。

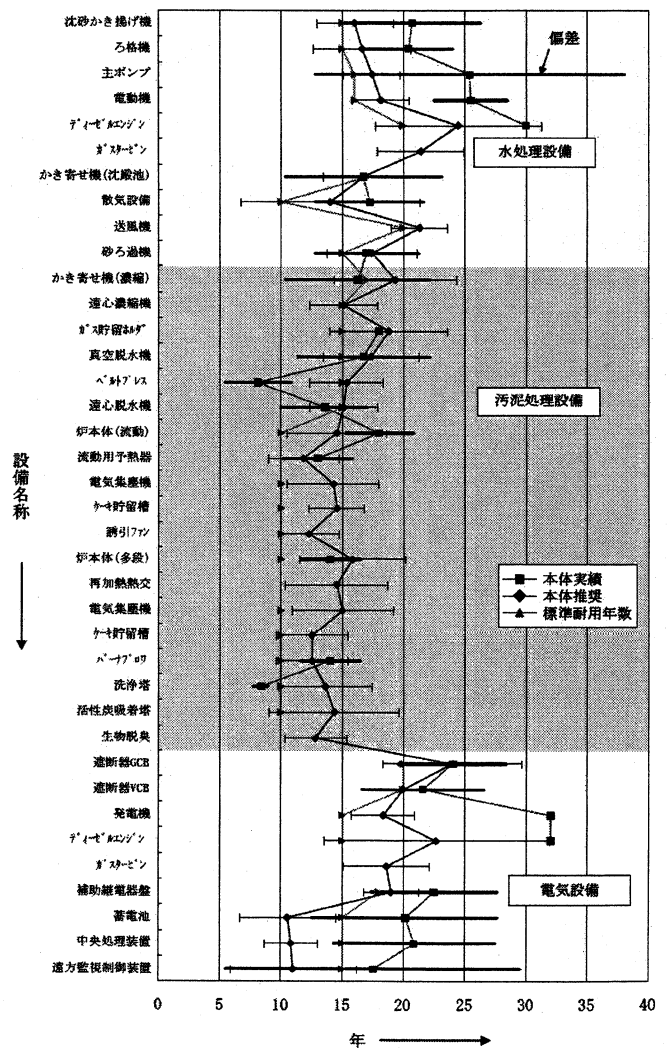
【キーワード】 マクロマネジメント、ワイブル分布、機械電気設備、耐用年数

1. 序論

全国下水道普及率は平成18年度末で70.5%に達し、最終想定普及率88%¹⁾まであと17.5ポイントとなり、最近の年1.2ポイントの上昇が続けば十数年でそれに到達するところまで来ている²⁾。これまでに蓄積された全国下水道ストックは後述のように名目で約84兆円、デフレータ補正と老朽化除却及び減価償却の計算を行った額で約58兆円にものぼる³⁾。

したがって、国民への下水道サービスを長期的かつ効率的に維持継続するため、下水道ストックマネジメント手法の研究開発と導入が喫緊の課題となっている。しかしながら、これまでの調査研究では概念や定性的考え方の提示に止まっているものが多く、現実の事業に実際に適用して計算できる実用的手法は極めて少ない。

ストックマネジメントでは耐用年数（設置から老朽化、陳腐化など何らかの理由で廃止・除却されるまでの年数を言う。以下同じ。）が基本的情報として重要である。下水道施設は耐用年数の観点から大きく管渠、処理場の土木建築施設及び機械電気設備（以下「機電」と言う。また、土木建築施設、機械設備、電気設備は単に「土木建築」、「機械」、「電気」と言う。）の3つに分類される。前二者がコンクリートを主材料としているのに対し、機電は金属を主材料としているため、前二者は耐用年数が40ないし50年以上、機電は耐用年数が10年から30



【出典】(社)東京下水道設備協会: LCCを考慮した設計・施工について、p.84、2006/03
http://setubikyoo.or.jp/main/technical/pdf/lcc_sekkei_siryoo.pdf

図-1 メーカー情報による機電の分類別耐用年数分布⁴⁾

年程度とされてきた。3者のうち機電は極めて多種多様であり、図-1のように用途や性質により細かく分類され、耐用年数も異なる⁴⁾。しかも、機電を構成する部品は交換を前提とした消耗性のものから耐久性のものまで幅広い。

ストックマネジメントではマクロマネジメントとミクロマネジメントの両面から検討し、突合することが精度・信頼性向上に有効であると考えられる。しかし、機電のマネジメントは今までのところ、分類の大、中、小に応じた個々の設備ごとに耐用年数やライフサイクルコストを算定し、それらを積み上げるミクロマネジメント手法が行われている。そして、全国、1事業体又は1処理区の機電を総体として捉え、事業財政計画の立案に必要な、総体としての耐用年数や将来改築事業量（「量」には物質的数量の他、金額も含む。以下同じ。）を数値で推計するマクロマネジメント手法が見られない。

そこで本研究はマクロマネジメント手法として、以下のように機電総体を事業費で、即ち金額で数値化し、これにワイブル分布の確率密度関数を耐用年数確率分布として適用し、将来改築事業費を推計する統計的手法を考案し、現実の事業データを使用して手順と算出結果を提示する。

ワイブル分布は物質的数量に適用されるが、本研究のように金額に適用した事例としては、下水道を含む日本全体の社会資本について過去の名目投資額から現時点での純資本ストック額を推計した内閣府調査報告がある⁵⁾。また、ワイブル分布と他分布の比較に関し、安野・保田は橋梁部材、舗装路面の寿命予測の事例において、ワイブル、指数、ゴンペルツ、対数ロジスティックの各分布の適用性を検討し、ワイブル分布が常に2番目に最適であり、シンプルで数値計算が比較的容易であるなど汎用的であることを指摘している⁶⁾。

本研究の手順の概要は次のとおり。まず下水道統計等の事業データの全国集計値から過去各年度の機電等の設置（新築と改築の両方を含む。以下同じ。）事業費を算出する。次にそれらを用いてアンケート調査結果の年齢（設備の設置時点からの経過年数を言う。以下同じ。）層別改築工事件数分布を再現できるワイブル型確率密度関数を耐用年数確率分布として試行反復計算し、設定する。続いて、こ

の設定分布（後述の「推計ワイブル分布 A」を指す。）を用いて改築事業費を過去及び将来各年度について推計する。最後に、推計ワイブル分布 A と断片的な別途情報から推計される分布（後述の「推計ワイブル分布 B」を指す。）とを比較検討する。

2. データ収集、計算手順及び計算結果

(1) 過去各年度の工種別設置事業費の算出

a) PT 別設置事業費と PT シェアの算出（管渠を「P」、処理場を「T」と略記する。以下同様。）

下水道統計の 1967 年度版⁷⁾、1993 年度版⁸⁾、1999 年度版⁹⁾、2005 年度版¹⁰⁾から、1967～2005 年度の公共下水道、特定環境保全公共下水道、特定公共下水道、流域下水道の管渠・処理場別（以下、「PT 別」と言う。）総事業費データを取り出し、年度別、PT 別に 4 種下水道の総事業費を集計し、設置事業費として PT 別に経年推移（以下単に「推移」と言う。）を算出し、さらに PT 別シェア（以下「PT シェア」と言う。）推移を算出する。PT シェア推移を図-2 に示す。

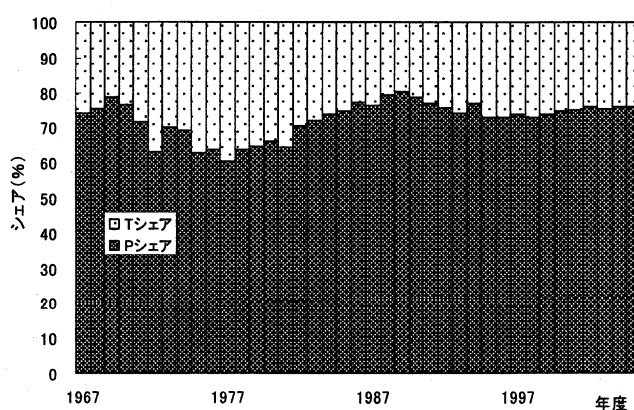


図-2 PTシェアの推移(1967～2005)

P シェアは 60～80%、全期間平均で 72.5%、最近 20 年間平均で 75.6%と算出される。

b) 工種別工事費シェアの算出

下水道統計要覧の 1986～1999 年度版¹¹⁾から全国の PT 別、土木、建築、機械、電気別（以下「工種別」という。）工事費を取り出し、PT 別、工種別の工事費シェア推移を算出する。ただし、算出対象の工種は機械、電気及び機械と電気を合算した機電とし、シェアは P、T それぞれ 4 工種合計で 100%となるよう算出する。また、ポンプ場は P に含める。

設置事業費は工事費に測量試験費、用地補償費、

事務費等を加えたものであるが、設置事業費シェアは工事費シェアと同じとみなして以下、計算を進める。なお、工種別工事費データは上記年度版以外では見つからなかった。PT 別、工種別の工事費シェアの推移を図-3～5に、最小二乗法近似による図中の線形式及び回帰分析結果並びに単純平均の定数式を表-1に示す。

統計検定により傾きを表す全ての係数 a がゼロであるとする仮説がほぼ採択となったので、以下、定数式で計算を進める。T 機械だけに時間依存の可能性がある理由として、図-1よりポンプ及び動力機を除く T 機械の耐用年数が比較的短く、改築事業費の増加が比較的強く影響していることが考えられる。

c) 工種別、年齢別改築件数シェア分布の算出

中尾・黒田・大森は 1992 年度末時点で供用開始 5 年以上経過した処理場を有する事業体にアンケート調査し、546 処理場の回答を得て、改築件数を図-6のように機械、電気別、かつ、5 年度ごとの年齢層別

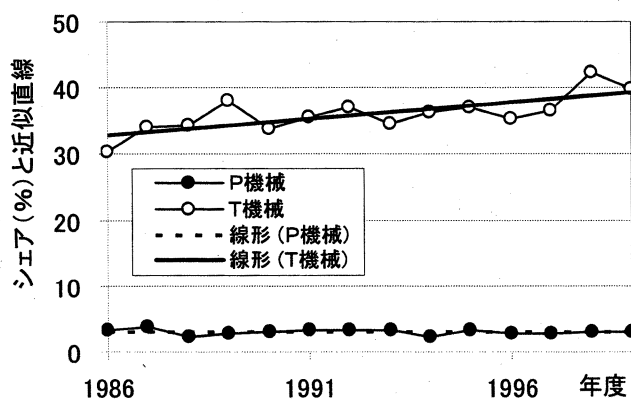


図-3 機械工事費シェアの推移

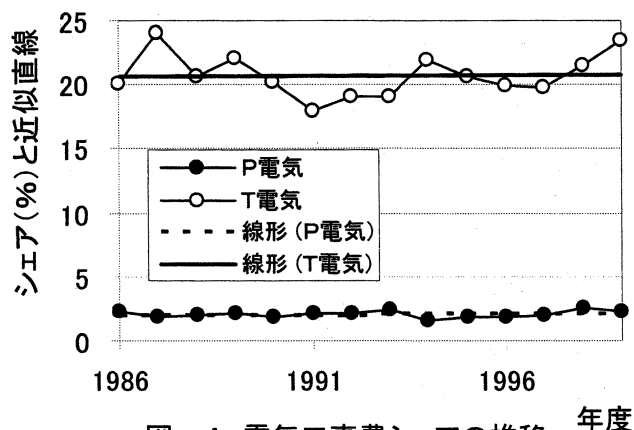


図-4 電気工事費シェアの推移

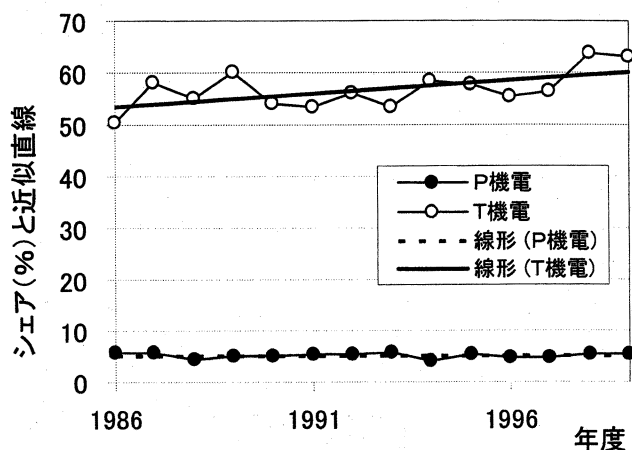


図-5 機電工事費シェアの推移

表-1 工種別工事費シェア推移の近似直線式

工種		線形(一次関数)式 $y = a \cdot (x - 1986) + b$ (y:西暦x年度のシェア a,b:係数)								定数式(平均値)	
		a				b					決定係数
		係数値	t値	p値	検定	係数値	t値	p値	検定		
機械	P機械	-0.0181	-0.39	0.702	採択	3.10	12.46	0.000	棄却	0.01	2.98
	T機械	0.505	2.89	0.015	*	32.78	29.77	0.000	棄却	0.43	36.06
電気	P電気	0.0126	1.29	0.222	採択	1.99	12.58	0.000	棄却	0.13	2.07
	T電気	0.0160	-0.05	0.964	採択	20.57	19.07	0.000	棄却	0.00	20.67
機電	P機電	-0.00553	0.29	0.774	採択	5.09	14.78	0.000	棄却	0.01	5.06
	T機電	0.521	1.75	0.109	採択	53.35	29.50	0.000	棄却	0.22	56.73

注) t 値、p 値は Microsoft Excel の回帰分析を使用。「係数値がゼロである」帰無仮説の検定に用いる。p 値 < 0.01, 0.05, 0.1 で仮説棄却。*は水準により採択・棄却が分かれる。

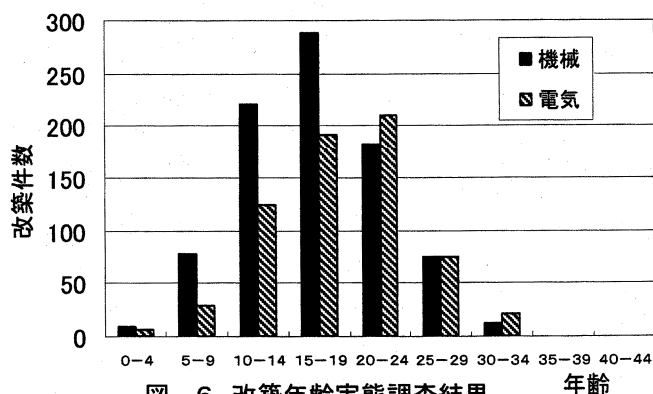
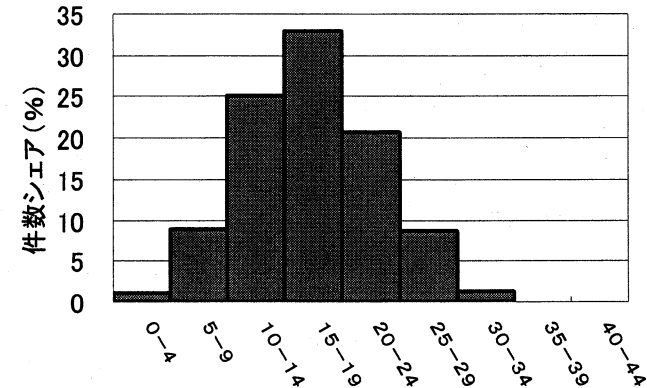


図-6 改築年齢実態調査結果

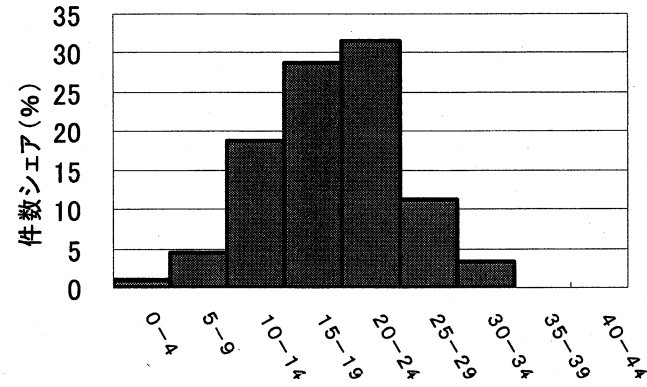
に集計した。(同調査報告を以下「中尾報告」と言う。) ¹²⁾ 年齢 45 歳以上の件数データが少数あるが、35～44 歳の件数がゼロであり、かつ、大多数である 34 歳以下のデータへの近似性が重要であると考えら

れるので、図－6 及び以下の計算では無視する。この年齢層別改築件数を総件数で除し、年齢層別改築件数シェア分布を算出する。算出結果を図－7、8 に示す。

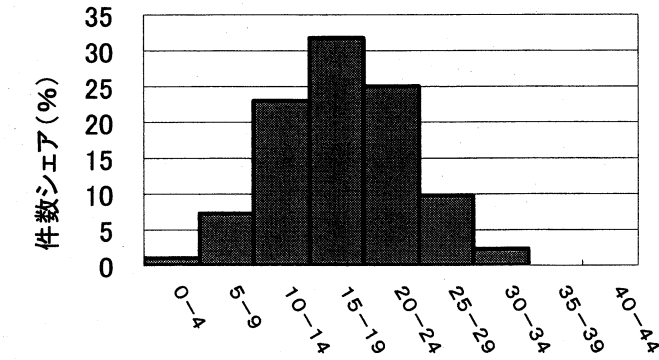
1986～1999 年度版下水道統計要覧¹¹⁾から全国合計の機械、電気工事費を取り出し、両者の比の14 年間



図－7 機械改築件数シェア分布



図－8 電気改築件数シェア分布



図－9 機電改築件数シェア分布

の平均値を算出すると 62.5 : 37.5 となる。この比で図－7、8 のシェア分布を加重平均し機電改築件数シェア分布を算出し、結果を図－9 に示す。同分布は合計値が 100%となり、図－7、8 と同様、確率密度関数の形である。図－7～9 の平均、標準偏差を表－2 に示す。

表－2 改築件数シェア分布の平均、標準偏差

	機械	電気	機電
平均(年)	16.8	18.7	17.5
標準偏差(年)	5.90	5.93	5.98

d) 過去各年度の PT 別設置事業費の算出

1976～2007 年度については国土交通省資料¹³⁾から全国の総事業費を、1958～1975 年度については日本の下水道(1997)¹⁴⁾ から下水道投資の金額を取り出し、1958～2007 年度の設置事業費とする。これを表－3 に示す。

表－3 全国下水道事業の過去 50 年の設置事業費
単位： 億円

年度	金額	年度	金額	年度	金額
2007	21,100	1990	24,422	1973	5,460
2006	21,614	1989	24,488	1972	5,310
2005	23,022	1988	23,952	1971	3,740
2004	24,326	1987	24,191	1970	1,920
2003	25,672	1986	19,860	1969	1,600
2002	29,207	1985	17,280	1968	1,390
2001	32,603	1984	16,007	1967	1,280
2000	34,093	1983	16,047	1966	1,040
1999	36,887	1982	17,097	1965	813
1998	48,781	1981	18,349	1964	614
1997	34,361	1980	18,052	1963	498
1996	33,790	1979	16,909	1962	381
1995	41,331	1978	14,577	1961	300
1994	31,494	1977	11,630	1960	224
1993	39,175	1976	7,505	1959	133
1992	30,647	1975	6,980	1958	98
1991	25,572	1974	4,770	総計	840,592

PT シェアとして 1967～2005 年度については図－2 の数値を、それ以前の 1958～1966 年度については同図中の平均値 72.5 : 27.5 を、2006、2007 年度については同図の最近 20 年間、すなわち 1986～2005 年度の平均値 75.6 : 24.4 を用いる。なお、下水道統計にも総事業費は掲載されているが、上記の国土交通省資料¹³⁾等のものを選択する。

過去各年度の設置事業費にそれぞれの年度に対応する P シェア、T シェアを乗じ、下水道工事費デフレータ¹⁵⁾で除して 2000 年度基準の P 設置事業費、T 設置事業費を算出し、結果を図-10に示す。

e) 過去各年度の工種別設置事業費の算出

過去各年度について図-10の P 設置事業費、T 設置事業費にそれぞれ表-1 の定数式で算出される工種別 P シェア、T シェアを乗じ、PT 合計して工種

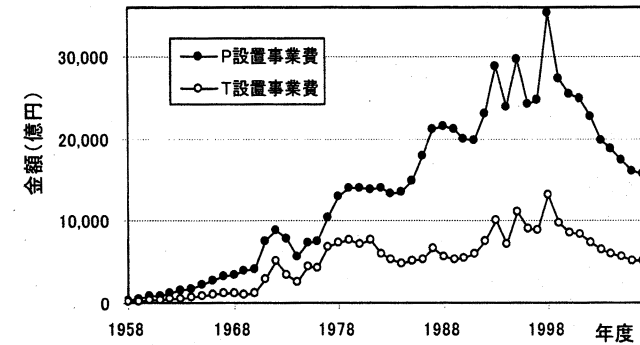


図-10 デフレータ補正後の過去各年度PT設置事業費

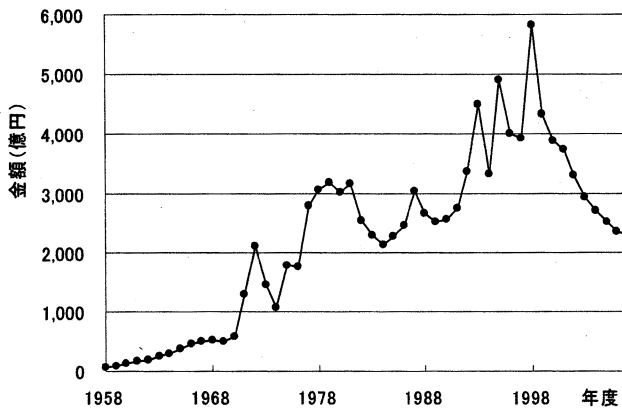


図-11 過去各年度の機械設置事業費の推移

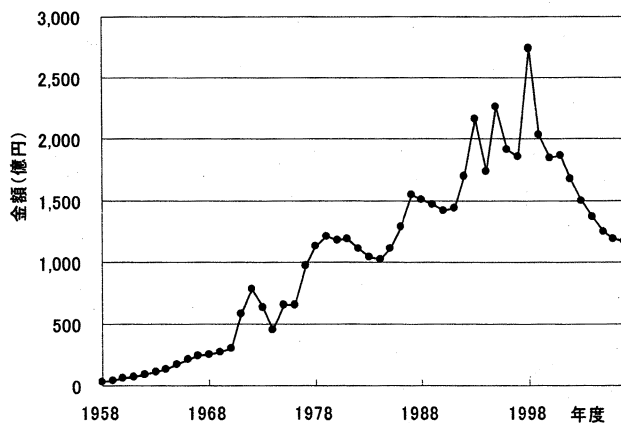


図-12 過去各年度の電気設置事業費の推移

別設置事業費を算出する。算出結果を図-11～13に示す。図-13に示すように、機電と図-11、12の数値を合計した(機械+電気)とは差が小さい。

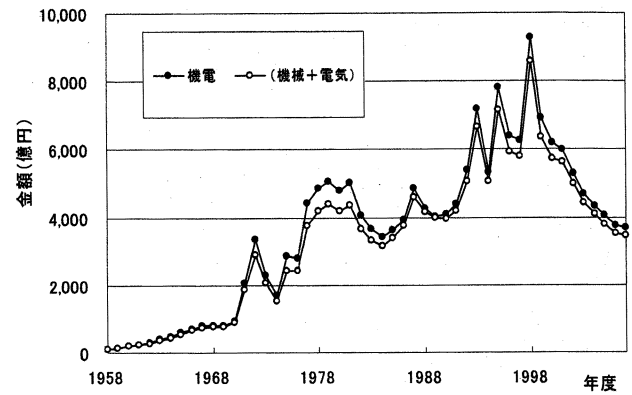


図-13 過去各年度の機電及び(機械+電気)の設置事業費の推移

(2) 試行反復計算による耐用年数確率分布の設定

a) 工種別、設置年度別、年齢別改築事業費の仮算出

ワイブル分布¹⁶⁾は物体が脆弱破壊する確率を統計的に記述する際に広く用いられる。ワイブル分布には(1)～(3)式で示される3つの関数があり、信頼度関数 $Rw(t)$ は経時的に減少していく生存数あるいは供用数と当初数の比を、確率密度関数 $fw(t)$ は耐用年数確率分布を、ハザード関数 $\lambda w(t)$ はその時々における損壊数と供用数の比を意味する。 t は設置時からの時間であり、 m は形状パラメータ、 η は尺度パラメータ、 γ は位置パラメータと呼ばれ、本研究では時間遅れを示す γ はゼロに設定する。

$$Rw(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad (1)$$

$$fw(t) = \frac{d}{dt}(1 - Rw(t)) = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m} \quad (2)$$

$$\lambda w(t) = \frac{fw(t)}{Rw(t)} = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} \quad (3)$$

過去各年度 ($i=1958, 1959, \dots, 1991$) に設置された年齢 j ($j=1, 2, \dots, (1992-i)$) 時点の設備について、 m 、 η に適当な初期数値を設定した確率密度関数 $fw(j)$ を仮の耐用年数確率分布として用い、前節(1)e)で算出した工種別設置事業費 $FS(i)$ を用い、(4)式により設置

年度別、年齢別の仮の改築事業費 $s(i, j)$ を算出する。

$$s(i, j) = fw(j) \cdot FS(i - j) \quad (4)$$

b) 年齢層別改築事業費シェア分布の仮算出

過去各年度 ($i=1958, 1959, \dots, 1991$) に設置された年齢 j ($j=1, 2, \dots, (1992-i)$) 時点の設備について、仮算出された改築事業費 $s(i, j)$ を j に関し図-6の横軸と同じ5年ごとの年齢層別に区切って集計し、シェアを仮算出する。

この集計にあたり、設置年度ごとに最大年齢の設備の改築事業費 $s(i, 1992-i)$ のみを集計する場合をケース1、年齢の最も大きい5年分 ($= s(i, 1992-i-4) + s(i, 1992-i-3) + \dots + s(i, 1992-i)$) の改築事業費を集計する場合をケース2、年齢制限なく改築事業費を集計する場合をケース3とする。

中尾報告のアンケート調査では調査基準年度(1992年度)から過去何年度まで遡って調査対象とするかが不明である。そこで、遡及年度数を1年、5年、無制限とする上記のケース1、2、3に分けて比較検討する。

c) 最良近似のワイブル分布の推計

仮算出された年齢層別シェア分布を、中尾報告から算出された図-7～9の対応工種のものと比較し、最小二乗法により最良に近似するよう m 、 η を少しずつ変えて前々節 a) 及び前節 b) の仮算出の試行を繰り返す。最良近似のワイブル分布を表-4に示す。

なお、平均耐用年数 μ 及び標準偏差 σ は(5)、(6)式によりワイブル係数 m 及び η から解析的に算出される。

$$\mu = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{m} \right) \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{m} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{m} \right) \right] \quad (6)$$

ここで、 $\Gamma(\cdot)$ は、ガンマ関数である。算出には Microsoft Excel のガンマ関数の自然対数の値を返す GAMMALN(x) という関数を用いた。

機械、電気、機電について平均耐用年数 μ のケース間の差は最大で 1.0、0.8、1.4 年、率にして 3～6% であり工種及びケース間の差も最大 3.2 年、率にして

12～14% であり、比較的小さいと考えられる。そこで3工種の代表的なものとして機電を選択する。さらに、次節(3)c)の計算の結果、2007年度の推計で改築事業費が設置事業費を上回る額の最も小さかったケース3(以下、「推計ワイブル分布A」という。)を代表的なものとして採用し、以下に計算過程を述べる。

表-4 工種別、ケース別最良近似ワイブル分布

工種	ケース	m	η	μ (年)	σ (年)
機械	1	3.40	26.0	23.4	7.6
	2	3.66	27.7	25.0	7.6
	3	4.09	27.8	25.2	6.9
電気	1	4.31	25.8	23.5	6.2
	2	4.47	27.4	25.0	6.3
	3	4.84	28.8	26.4	6.2
機電	1	3.69	27.0	24.4	7.4
	2	3.97	28.5	25.8	7.3
	3	4.34	29.2	26.6	6.9

(3) 将来各年度の設置事業費の推計

a) 普及率と累計新築事業費の相関

P や T 土木建築に比べ、機電はより細かく下水量の増加に応じて増築されていくと考えられる。そこで、将来各年度の新築事業費を算出する方法として、下水道処理人口普及率(以下単に「普及率」と言う。)と累計機電新築事業費との相関の利用を検討する。

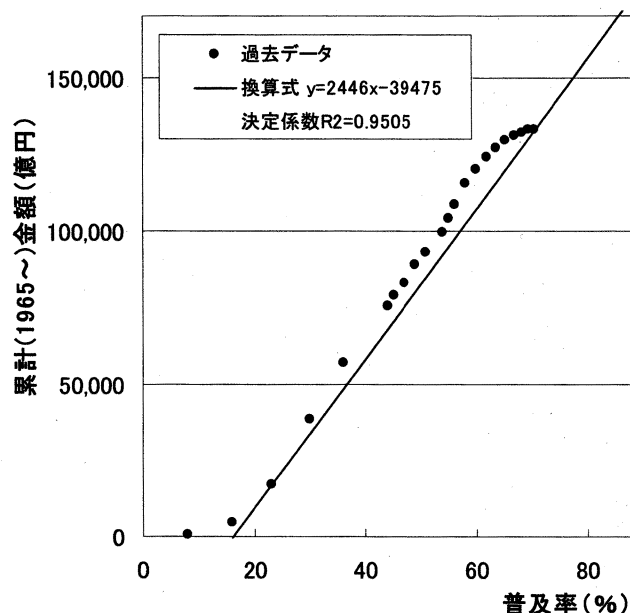
西暦 i 年度 ($i=1959, 1960, \dots, 2007$) における新築事業費を $F(i)$ 、改築事業費を $S(i)$ 、設置事業費を $FS(i)$ 、年齢 j ($j=1, \dots, i-1958$) の設備の改築事業費を $s(i, j)$ とすれば、 $F(i)$ は(7)式で算出される。

$$\begin{aligned} F(i) &= FS(i) - S(i) \\ &= FS(i) - \sum_{j=1} s(i, j) \\ &= FS(i) - \sum_{j=1} fw(j) \cdot FS(i - j) \quad (7) \end{aligned}$$

過去各年度の普及率データは日本の下水道(2007)¹⁷⁾から取り出し、過去各年度の累計機電新築事業費データは、図-13の機電の設置事業費推移を(7)式の $FS(i)$ 、 $FS(i-j)$ に代入し、算出される新築事業費 $F(i)$ を

順次累計して算出する。

普及率と累計機電新築事業費の関係及び換算式を図－14に示す。累計計算は左端プロットの1965年度から開始している。



図－14 普及率と累計機電新築事業費

普及率から累計機電新築事業費への換算式は、左端のやや外れたプロットを除き、かつ右端プロットの右側である将来領域への連続性を考慮するため、左から3番目及び右端の2プロットを結ぶ直線を選定した。決定係数から概ね良好な当てはまりと認められる。

左端プロットは1965年8%であり、傾きが小さいことから、この年代は以後と比べて普及率1ポイント当たり機電新築事業費が安かったことが推察される。

b) 将来各年度の新築事業費の算出

将来各年度の普及率はその増分を近年の実績から年1.2ポイントに設定する。また、普及率の上限を最終想定普及率88%¹⁾に設定する。将来各年度の新築事業費は換算式の傾き2,446に1.2を乗じた2,935億円となり、2021年度に普及率88%に到達する。2022年度以降は新築事業費をゼロと置く。

c) 将来各年度の改築、設置事業費の推計

西暦*i*年度(*i*=2008,2009,⋯,2080)における年齢*j*(*j*=1,⋯, *i*-1958)の設備の改築事業費を*s*(*i*, *j*)とし、*S*(*i*)、*FS*(*i*)を(8)、(9)式で算出する。将来各年度の*F*(*i*)

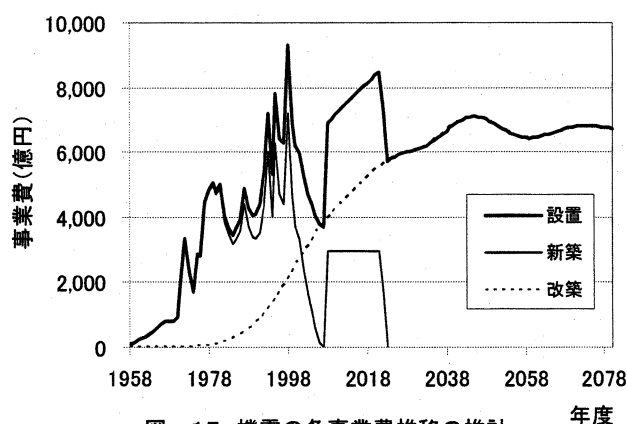
は前b)項で算出されている。

$$S(i) = \sum_{j=1} s(i, j)$$

$$= \sum_{j=1} fw(j) \cdot FS(i - j) \quad (8)$$

$$FS(i) = F(i) + S(i) \quad (9)$$

計算結果を図－15に示す。機電の設置事業費ないし改築事業費は超長期的には年間約6,800億円ではぼ一定に推移するものと予測される。なお、過去各年度の*F*(*i*)、*S*(*i*)は前a)項で算出されている。



図－15 機電の各事業費推移の推計
(中尾報告使用)

(4) 推計ワイブル分布Aと別途情報から推計された分布の比較検討

a) 近年の改築工事割合データの検討

機電メーカー団体の公表調査結果によれば、改築工事の金額割合の推移は表－5のとおりである¹⁸⁾。

表－5 改築工事の金額割合の推移

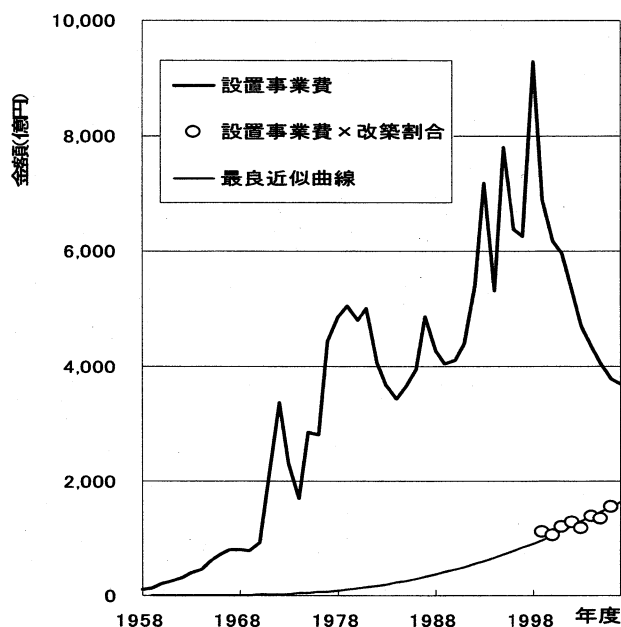
年度	1999	2000	2001	2002
改築工事の金額割合 (%)	16	17	20	24
年度	2003	2004	2005	2006
改築工事の金額割合 (%)	25	32	33	41

図－13の過去各年度の機電設置事業費に同表の割合を乗じた改築事業費を最小二乗法で最良近似するワイブル分布(以下、「推計ワイブル分布B」という。)は、表－6のとおり推計される。同分布を用いた近似状況を図－16に、設置事業費等推移を

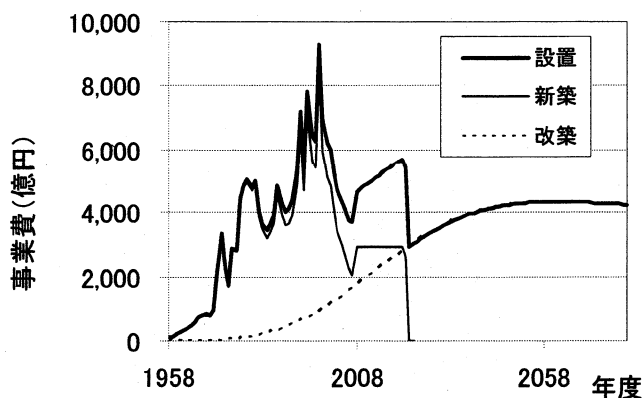
図－１７に示す。

表－６ 推計ワイブル分布 B

ワイブル係数		平均	標準偏差
m	η	μ (年)	σ (年)
2.18	52.8	46.8	22.6



図－１６ 機電設置事業費 × 改築割合の近似状況



図－１７ 機電の各事業費推移の推計
(別途情報使用)

同分布を用いれば 2007 年度は事業費 3,676 億円 (100%) 中、新築事業費 2,050 億円 (56%)、改築事業費 1,626 億円 (44%) と推計される。また、平均耐用年数が 46.8 年と長いことを反映し、機電の設置事業費ないし改築事業費は超長期的には年間約 4,300 億円では一定に推移するものと予測される。

b) 国土交通省資料の改築事業費関連データ

国土交通省の公表資料によれば、2005～2007 年度の改築事業費の国庫補助金は約 700～1,000 億円である¹⁹⁾。機電改築事業費は、国庫補助率を低率 1/2 とし、土木建築はなく機電が改築の全てを占めると仮定する大きめの算出値で 1,400～2,000 億円となる。この金額範囲は、前 a) 項において 2005、2006 年度の機電事業費 4,038、3,757 億円に改築割合データ 33%、41% を乗じた 1,333 億円、1,540 億円及び推計ワイブル分布 B から算出される 2007 年度改築事業費 1,626 億円を概ねその中に収める。

なお、機電が改築の全てを占めるとする仮定は、下水道整備が本格的に始まったのが 1970 年代であったことから、近年の改築事業費については耐用年数の短い機電が大部分を占め、耐用年数の長い土木建築が少ないと考えられることによる。

3. 考察

(1) ワイブル分布近似に必要なデータ

ワイブル分布適用の基本的方法は、

- ①同一年度における年齢別改築量分布
- ②同一年度における年齢別供用量分布
- ③年度別設置量分布

の 3 つのうちいずれか 2 つの分布データを収集し、

①②からならハザード関数、①③からなら確率密度関数、②③からなら信頼度関数を近似すればワイブル係数を算出することができる。

しかしながら、いずれの組み合わせについても十分なデータが得られない場合、別の方法でワイブル分布を決定することが必要となる。本研究では③の分布データが収集できたが①②の分布データが収集できなかった。

そこで、本研究では①に代替できそうなものとして中尾報告の年齢別改築件数分布に注目し、試行反復計算により表－４の結果を算出した。同分布に集計されたデータの改築年度が 1992 年度だけであった場合と、複数年度であった場合とで、推計されるワイブル分布の差が小さいと判断し、推計ワイブル分布 A を代替的に耐用年数確率分布として用い、過去及び将来各年度の改築事業費推計を行った。

(2) 算出されたワイブル分布の利用法

全国、1事業体、1処理場など設備群の改築量データにワイブル分布を良好に近似できた場合、まずその設備群についての将来改築量予測ができ、財政計画の立案に資することができる。さらに、算出された係数値をまだデータの少ない他の類似設備群へ援用することや、係数値の異なる設備群と比較し、異なる原因を究明して効率改善を図ることも期待される。

なお、管渠や土木建築のように単一材料のコンクリートが耐用年数を強く決定していると考えられる場合であれば統計的に算出されたワイブル分布の平均及び標準偏差を個々の施設の耐用年数に類推適用することができると考えられるが、多種多様な設備が混在した機電総体の場合にはできない。

また、高額設備が改築になると当該年度に改築事業費を突出させることとなり、当該年度以外では改築事業費推計額を嵩上げて改築事業費推計精度を下げることとなる。したがって、対象設備群は十分な大きさの設備数を有するものとするか、高額設備の改築事業費推計額を別途マイクロマネジメントで積み上げるのが適当であると考えられる。

(3) 推計ワイブル分布 A の精度・信頼性の向上

中尾報告からの分布を代替的にデータ使用したことによる精度・信頼性低下を補うため、3.(4)で断片的な別途情報により耐用年数確率分布を推計したところ、平均 26.6 年、標準偏差 6.9 年の推計ワイブル分布 A を大きく上回る平均 46.8 年、標準偏差 22.6 年の推計ワイブル分布 B となった。

推計ワイブル分布 A では 2007 年度、設置事業費がほぼ改築事業費と等しくなり、新築事業費がないことになるので、実態の平均耐用年数は推計ワイブル分布 A の 26.6 年よりも大きい可能性がある。

他方、機電メーカー団体の会員は大手企業であるので、同団体のデータは中小企業の受注分を含めた機電工事全体のデータとは大きく異なる可能性がある。また、国土交通省の改築事業費補助金は、年齢、規模、適正維持管理記録等の条件があるので国庫補助とならないものをも含んだ改築事業費全体とは対応していない可能性がある。

さらに、本研究では下水道工事デフレータを用いたが、下水道工事では土木建築の比率が大きく、機

電の設置事業費の比率は下水道統計要覧 1986～1999 年度版¹¹⁾ から算出すると、平均で 17.1%と小さい。機電の価格水準の補正に下水道工事デフレータを用いることが適切でない可能性がある。すなわち、機電は土木建築に比べ、性能価格比に格段の向上があり、それが影響している可能性がある。

したがって、算出されるワイブル分布の精度・信頼性の向上のためには、まず、(1)①又は②そのもののデータ収集が最も有効であり、次に、統計処理が可能な程度に設備数の大きい事業体(群)のデータ収集が有効であると考えられる。また、機電の性能価格比の推移に手掛かりがあることも考えられる。今後、これらのデータ収集・解析が課題である。

(1)①又は②のデータ収集方法としては国、(社)日本下水道協会等の全国組織が広くユーザーの各事業体を対象にアンケート調査する方法が有力であり、各メーカーを対象にアンケート調査する方法も考えられる。また、政令指定都市のように下水道管理の歴史が長く、大量の機電ストックを保有する事業体のデータならば、その数・内容が統計処理に適し、推計値が他事業体の参考とできる場合もあると考えられる。なお、(1)①及び②をデータ収集できた場合の具体的解析方法及び検証方法は藤生・宮内が水管渠延長の事例で示している²⁰⁾。

耐用年数確率分布を一つに絞り込むことはできなかったが、機電総体としての耐用年数や将来改築事業量を推計できるマクロマネジメント手法が他に見当たらない。したがって当面は、推計ワイブル分布 B ではなく、耐用年数を小さめに見積もる安全側であり、かつ、図-1の耐用年数の範囲内にある推計ワイブル分布 A を使用し、適用現場の過去及び新規データへの適合性を十分に検討しつつ推計するのが適当であると考えられる。

また、機電に限らないことであるが、マクロマネジメントの信頼度関数とマイクロマネジメントの劣化曲線は形状が似ており、両者を相互に関連付けられるならば、マクロマネジメントのデータから劣化曲線を算出したり、マイクロマネジメントのデータから信頼度関数を算出したり、両データを突合検証したりしてマネジメント手法の融通性を増し、精度・信頼性を向上させることが期待される。

最後に、本研究の耐用年数は技術的に望ましい状

態保持の観点からではなく、いわゆる「だましまし」使っている劣化の著しく進んだ状態をも含んだ実態反映の観点から推計されていることを付言しておく。

4. 結論

(1) マクロマネジメントにおいて用途、性質等が多種多様であるため統一的に数値解析することが困難である機電について設置事業費で統一的に数値化し、耐用年数確率分布や将来改築事業費を推計する手法を考案し、現実の事業データを使用して計算手順を示した。

(2) 機電設置事業費の全国データにワイブル分布を適用し、耐用年数確率分布として最良近似したワイブル分布（推計ワイブル分布 A）を係数 $m=4.34$ 、係数 $\eta=29.2$ 、平均 $\mu=26.6$ 年、標準偏差 $\sigma=6.9$ 年と算出した。ただし、平均、標準偏差のより大きな分布を示唆する別途情報もあり、算出値を断定できるには至っていない。

(3) 推計ワイブル分布 A を用いた将来改築事業費予測では、全国の機電改築事業費は超長期的には年間約 6,800 億円で推移するものと予測される。

5. 謝辞

照会に快くご回答いただいた、中尾報告著者で現在（株）東京設計事務所にご所属の中尾正和氏、図-1 の転載をご承諾いただいた（社）東京下水道設備協会技術部長の馬場勝美氏に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省ホームページ、汚水処理の普及、http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/yakuwari/osui_fukyu.html
- 2) 国土交通省ホームページ、平成 18 年度末の下水道整備状況について、http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/04/040823_3_.html
- 3) 内閣府政策統括官（経済社会システム担当）：日本の社会資本 2007、国立印刷局、p.135, 176、2007/03
- 4) （社）東京下水道設備協会：LCC を考慮した設計・施工について、p.84、2006/03、
http://setubikyo.or.jp/main/technical/pdf/lcc_sekkei_siryo.pdf
- 5) 3) の文献全体を指す。
- 6) 安野貴人、保田敬一：土木構造物の維持管理と劣化進行のハザード形状、土木学会、応用力学論文集、Vol.10、pp.1019-1026、2007/08
- 7) （社）日本下水道協会：昭和 42 年度版下水道統計、p.366、1969
- 8) （社）日本下水道協会：平成 5 年度版下水道統計、pp.87-89、1995
- 9) （社）日本下水道協会：平成 11 年度版下水道統計、pp.118-119、2001
- 10) （社）日本下水道協会：平成 17 年度版下水道統計、pp.115-116、2007
- 11) 例えば（社）日本下水道協会：昭和 61 年度版下水道統計要覧、p.72、1988
- 12) 中尾正和、黒田秀男、大森栄二：改築の実態・需要に関する調査、（財）下水道新技術推進機構、p.5、1993、<http://www.jiwet.jp/result/annual/maintenancemanage/pdf/1993d1m.pdf>
- 13) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 20 年度下水道事業予算概算要求概要、p.97、2007/08
- 14) 下水道行政研究会：平成 9 年日本の下水道、日本下水道協会、p.297、1997
- 15) 国土交通省ホームページ、建設工事費デフレーター（2000 年度基準）、<http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/ex/deflnendo.xls>
- 16) 真壁 肇：[改訂版]信頼性工学入門、（財）日本規格協会、p.97、1996
- 17) 下水道行政研究会：平成 19 年日本の下水道、日本下水道協会、p.280、2007
- 18) 小林一郎：LCC を考慮した下水道施設コストの考え方、下水道協会誌、Vol.44、No.542、p.28、2007/12
- 19) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 20 年度下水道事業関係予算概要、p.58、2008/01
- 20) 藤生和也、宮内千里：統計的手法による下水管渠の耐用年数確率分布推定及び将来改築必要量予測、土木学会、建設マネジメント論文集 Vol.14、pp.65-72、2007/11、
http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/fujiu_2007nov.pdf

Statistical Analysis on Service Life of Mechanical and Electrical Sewerage Equipments

By Kazuya FUJIIU, Keisuke HANAKI

Wide variety in mechanical and electrical sewerage equipments (MESE) causes difficulty in evaluation of service life in physical asset macro-management. This paper tries to analyze MESE life time by evaluating monetarily expenditure of MESE and by applying Weibull distribution to statistical MESE data of all Japan.

Estimated parameters of Weibull distribution are 4.34 and 29.2. Average service life and standard deviation are calculated to be 26.6 and 6.9 years. Using that distribution, future rehabilitation expenditure of MESE in all Japan is also predicted to be approximately 680 billion yen per year.

*1 国土技術政策総合研究所下水道研究官 電話 029-864-4734, gesuidou@nilim.go.jp

*2 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授