

基準地域メッシュ単位における 人工系水循環の推定

安陪 和雄¹

大八木 豊²

安田 佳哉³

¹ 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)

² 正会員 工修 ㈱建設技術研究所大阪支社 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1-2-15)

³ 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)

霞ヶ浦流域 44 市町村を 2,674 個の基準地域メッシュで再構成し、国勢調査実施年である 1995 年を対象に各メッシュの生活用水使用量及び生活系処理量を推定した。メッシュ人口を夜間人口とした推定方法と夜間人口と昼間人口に分離した推定方法では、両者の差（後者－前者）が、生活用水使用量で -792～+2,354(m³/日)、生活系処理量で -765～+1,949 (m³/日)となり、基準地域メッシュ単位における人工系水循環の推定において昼間人口を考慮する重要性が明確化された。

Key Words : hydrological cycle, standard grid cell, nighttime population, daytime population, GIS

1. はじめに

我が国の河川・湖沼の水環境は生活排水の流入の多い都市部の中小河川では依然として汚濁が著しく、湖沼でも富栄養化による水質汚濁が改善されていない状況にある。行政サイドでは、下水道の整備等、主に公共事業の実施により水質改善を図ってきたが、このような行政の取組だけでは限界があり、家庭と下水道の接続促進、浄化槽の維持管理の確保、農地の施肥量の削減、事業場の排水自主管理の徹底等、地域住民、企業等が自らの役割に応じて行政と協働して必要な措置を実施していく必要がある。

このためには、各主体が環境保全に関する問題認識を共有した上で、それぞれが、環境を意識し、環境に配慮した行動を行っていくことが重要である。

これを実現するためには、各主体の個別の行動が環境保全にどれだけ貢献するのかについて科学的に評価し、個別の行動の必要性について各主体が十分に理解する必要がある。

生活用水の取排水等、人工系水循環と密接に関連していると想定される人口等は、国勢調査地域メッシュ統計等より約 1 km 四方の基準地域メッシュ単位¹⁾ (南北方向 30 秒東西方向 45 秒の区画) で取得することができる。人間の諸活動は地域分散的では

ないため局所的な基準地域メッシュ単位の人工系水循環はそれらを平均化した市町村単位の人工系水循環とは大きく異なる可能性がある。水道統計、下水道統計等の人工系水循環データは、通常、市町村単位で公表されている。市町村を基準地域メッシュで構成することが許容されるならば、市町村単位の人工系水循環データを人口等の指標をもとに各メッシュに再配分することは可能である。

基準地域メッシュ単位で人工系水循環を把握できれば、自然系水循環モデル等と連携することにより、基準地域メッシュ内の人工系水循環の変化が、身近な河川・湖沼の水環境に及ぼす影響を定量的に評価することは可能である。例えば、河川流域の上流部で都市化が進んでいる場合、基準地域メッシュ単位で人工系水循環が正しく推定できれば、地域住民、企業等の同意が必要とされる下水道接続等による河川上下流部・湖沼への水質改善効果が明確になる。

既往の研究²⁾では、人工系水循環は自然系水循環モデルの境界条件の一部として取り扱われることが一般的である。市町村単位の人工系水循環データを地理的スケールの小さい基準地域メッシュ単位に変換し、夜間人口と昼間人口を考慮して、その推定精度を検討した研究事例は見当たらない。本研究は、夜間人口と昼間人口を考慮した推定結果と昼間人口

を考慮しない推定結果を比較して、その相違を明確にすることにより、昼間人口を考慮する重要性を示すことを目的とする。

対象地域は、霞ヶ浦流域を包含する 3 県 44 市町村（茨城県 41 市町村、千葉県 2 市町、栃木県 1 町）とし、対象年は、国勢調査実施年である 1995 年とした。

2. 人工系水循環の推定手順

生活用水に係る人工系水循環の推定は以下の手順による。

- (1) 市町村単位的生活用水使用量の推定
- (2) 基準地域メッシュ単位的生活用水使用量の推定
- (3) 基準地域メッシュ単位的生活系処理量の推定

また、推定値と真値との比較は、真値として下水道統計に記載されている生活系処理量を取り上げ、(3)で推定した生活系処理量と比較した。

以上の推定は、夜間人口と昼間人口を分離して行った。一方、国勢調査、水道統計、下水道統計等の人口に係る統計データは夜間人口を対象にしている。このため、上記(2)、(3)の推定を、昼間人口を考慮せず、夜間人口のみを用いて推定するケースも十分にあり得ると想定した。そこで以下の比較を併せて行った。

- (4) 昼間人口を考慮しない推定結果との比較

以下、3. ～ 6. に各推定方法及び推定結果について詳述する。

3. 市町村単位における生活用水使用量

市町村における生活用水使用量 MLQ は、炊事、洗濯、手洗い、風呂等、人間生活に密接不可分な純生活用水使用量 MHQ と、学校、病院、飲食店、小売店等の事業所用水使用量 MBQ により構成される。

$$MLQ = MHQ + MBQ \quad (1)$$

(1)式の純生活用水使用量 MHQ は、市町村の夜間人口 $MNpop$ 及び昼間人口 $MDpop$ により、以下のよう表現する。

$$MHQ = \left(\frac{1}{1+m} \right) hq * MNpop + \left(\frac{m}{1+m} \right) hq * MDpop \quad (2)$$

但し m : 夜間に対する昼間の平均的な純生活用水使用比率

hq : 1 人当たりの平均的な純生活用水使用量

式(1)の事業所用水使用量 MBQ は、昼間人口 $MDpop$ により、以下のように表現する。

$$MBQ = bq * MDpop \quad (3)$$

但し bq : 1 人当たりの平均的な事業所用水使用量

式(1),(2),(3)より、市町村における生活用水使用量 MLQ は、以下のように表現できる。

$$MLQ = \left(\frac{1}{1+m} \right) hq * MNpop + \left[\left(\frac{m}{1+m} \right) hq + bq \right] * MDpop \quad (4)$$

基準地域メッシュ単位における夜間人口 $mnpop$ と昼間人口 $mdpop$ は、「国勢調査・地域メッシュ統計」及び「国勢調査、事業所・企業統計調査等のリンク」((財)統計情報研究開発センター)にから取得できる。市町村単位における夜間人口 $MNpop$ と昼間人口 $MDpop$ は、市町村と重なり合う基準地域メッシュについて、夜間人口 $mnpop$ と昼間人口 $mdpop$ を集計することにより算出した。

夜間に対する昼間の平均的な純生活用水使用比率 m は、勤務時間/勤務外時間=8 時間/16 時間=0.5 と仮定する。

1 人当たりの平均的な純生活用水使用量 hq は、既往の調査結果を 1995 年に時点修正する。図-1 は純生活用水使用量 hq (家庭用水使用量) の調査結果③をプロットしたものである。これより、1995 年における 1 人あたりの純生活用水使用量 hq は、約 239 リットル/日と推定される。

1 人当たりの平均的な事業所用水使用量 bq は、市町村内に存在する学校、病院、飲食店、小売店等の分布、規模等によって異なる。 bq の大小により、市町村における生活用水使用量 MLQ は左右される。

市町村における生活用水使用量 MLQ の推定方法は以下の通りである。

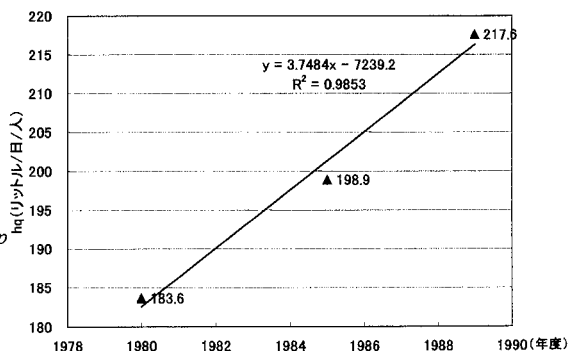


図-1 家庭用水使用量の経年変化

上水道事業（計画給水人口 5,001 人以上）の給水量を WQ 、簡易水道事業（計画給水人口 101 人以上 5,000 人以下）の給水量を SQ 、その他人口の生活用水使用量を OQ とすれば、市町村の生活用水使用量 MLQ は以下のように表現できる。

$$MLQ = WQ - IQ + SQ + OQ \quad (5)$$

但し、 IQ 上水道によって供給される一部の工業用水使用量

WQ, SQ については、水道統計資料（厚生労働省、茨城県、千葉県、栃木県）から取得することができる。 IQ については工業統計資料（経済産業省、茨城県、千葉県、栃木県）から推定できる。

上水道事業の給水人口を $Wpop$ 、簡易水道事業の給水人口を $Spop$ 、その他人口を $Opop$ とすれば、市町村人口 $Mpop$ は以下のように表現できる。

$$Mpop = Wpop + Spop + Opop \quad (6)$$

$Wpop, Spop$ については、水道統計資料から取得することができるため、 $Opop$ を式(6)から算定することができる。

式(5)におけるその他人口の生活用水使用量 OQ については、一人当たりの平均的な生活用水使用量 alq を水道統計資料から算出し、その他人口 $Opop$ を掛け合わせて推定した。

$$OQ = alq * Opop \quad (7)$$

1 人あたりの平均的な生活用水使用量 alq の算出にあたっては、茨城県全体の平均値を採用した。すなわち、水道統計資料に記載されている茨城県全体の上水道事業の給水量から工業統計資料に記載されている工業用水としての上水道からの給水量〔記載値が従業員 30 人以上事業所を対象とした給水量であるため工業出荷額（製造品出荷額等）比（従業員 1 人以上事業所/従業員 30 人以上事業所）で補正〕を差し引いた。さらに、この差分を茨城県全体の上水道事業の給水人口で割り戻した。茨城県全体の 1 人当たりの生活用水使用量 alq は 264 リットル/日となった。これは、水道統計資料に記載されている工業用水としての給水量を含む生活用水使用量の 303 リットル/日と比べて 14% 少ない。

図-2 は式(5)から推定した各市町村の 1 人 1 日当たりの生活用水使用量を示す。一部の市町村（大和村）では生活用水使用量がマイナス値になるなど現実では起こりえないことが認められる。

この原因として以下の画一的な推定方法が影響しているものと考えられる。

①従業員 30 人未満事業所における上水道によって供給される工業用水使用量については従業員 30 人以上事業所における上水道によって供給される工業

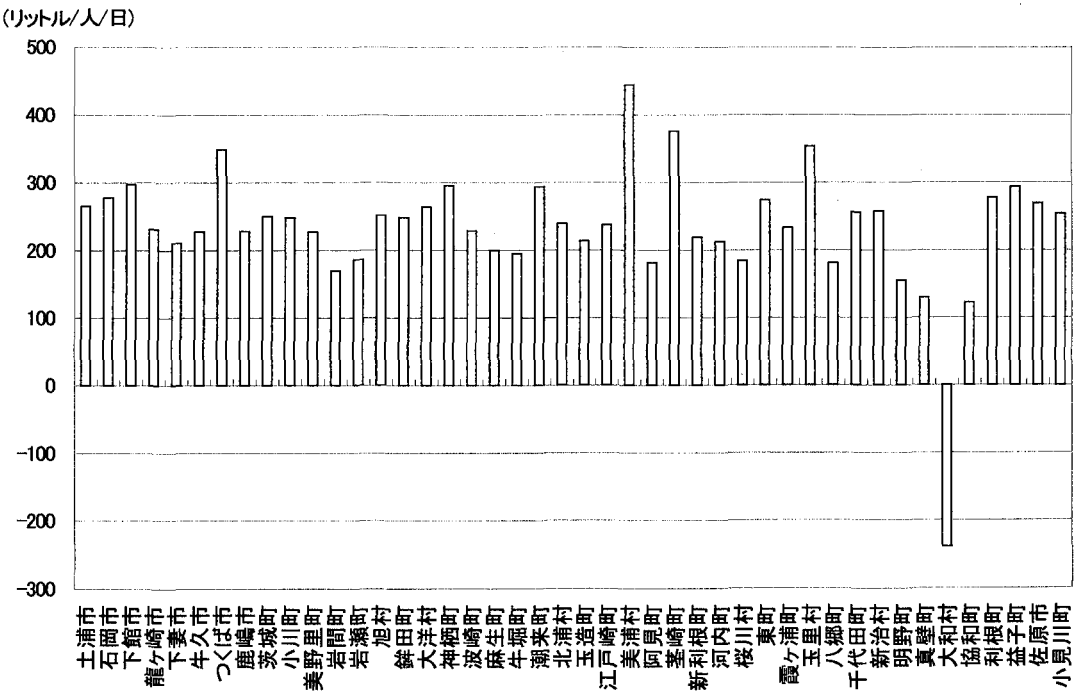


図-2 市町村単位における 1 人 1 日当たりの生活用水使用量の推定結果（補正前）

用水使用量に対して工業出荷額に比例するものと仮定した。

②上水道事業又は簡易水道事業の給水対象者は生活用水のすべてをこれらの水源に依存するものと仮定した。

上記①については、上水道によって供給される一部の工業用水使用量の推定値が、過大または過小であるかを判別することはできない。

上記②については、給水対象者が生活用水のすべてを上水道事業又は簡易水道事業に依存するとは断定できない（例えば地下水に一部依存するかもしれない）。このため、生活用水使用量 MLQ が過小に推定される可能性がある。

本研究では、式(5)から推定した各市町村の生活用水使用量 MLQ を式(4)に代入して各市町村の1人あたりの事業所用水使用量 bq を算出し、 bq がマイナス値になる市町村（図-2 で 239 リットル/人/日に満たない 22 市町村）については bq が 0 リットル/日になるように生活用水使用量を MLQ に加算した。これらの市町村については、新たに bq を定義する有意な根拠を見出せないため、この段階において各市町村の生活用水使用量を確定した。一部補正した流域 44 市町村の1人あたり生活用水使用量 lq の平均値は 268 リットル/日となった。これは、茨城県全体における上水道事業の給水者を対象とした1人当たりの平均的な生活用水使用量 alq の 264 リットル/日よりも 4 リットル/日、大きい結果となった。

以上の推定フローを図-3 に示す。

4. 基準地域メッシュ単位における生活用水使用量

各市町村における生活用水使用量 MLQ は、夜間の生活用水使用量 MNQ と昼間の生活用水使用量 MDQ の和でもある。

$$MLQ = MNQ + MDQ \quad (8)$$

式(8)と式(1)を比較することにより、

$$MNQ = \left(\frac{1}{1+m} \right) hq * MNpop \quad (9)$$

$$MDQ = \left[\left(\frac{m}{1+m} \right) hq + bq \right] * MDpop \quad (10)$$

MNQ と MDQ を $MNpop$ と $MDpop$ で以下のように表現する。

STEP 1

GISにより、国土数値情報・行政界と基準地域メッシュを重ね合わせて市町村の基準地域メッシュに対する面積占有率を算出し、最も占有率の大きい市町村のIDを基準地域メッシュの属性として与える。

STEP 2

「国勢調査・地域メッシュ統計」から取得したメッシュ夜間人口 ($mnpop$) 及び「国勢調査、事業所・企業統計調査等のリンク」から取得したメッシュ昼間人口 ($mdpop$) を市町村を構成する基準地域メッシュ群で集計し、市町村の夜間人口 ($MNpop$) 及び昼間人口 ($MDpop$) を算出する。

STEP 3

市町村の生活用水使用量 (MLQ) を水道統計、工業統計から式(5)により算出する。

STEP 4

市町村の1人当たりの事業所用水使用量 (bq) を式(4)により算出する。

STEP 5

$bq \geq 0$ (l/日/人) であれば、 MLQ は変更しない。
 $bq < 0$ (l/日/人) であれば、 $bq = 0$ になるように生活用水使用量を MLQ に加算する。

図-3 市町村単位的生活用水使用量の推定フロー

$$MNQ = lq \left(\frac{1}{1+n} \right) MNpop \quad (11)$$

$$MDQ = lq \left(\frac{n}{1+n} \right) MDpop \quad (12)$$

但し lq :各市町村における1人当たり生活用水使用量

n :夜間人口に対する昼間人口の生活用水使用比率

式(8)、(11)、(12)より、

$$MLQ = lq \left[\left(\frac{1}{1+n} \right) MNpop + \left(\frac{n}{1+n} \right) MDpop \right] \quad (13)$$

となる。また、(11)/(12)より

$$\frac{MNQ}{MDQ} = \frac{1}{n} \frac{MNpop}{MDpop} \quad (14)$$

となる。 MNQ 、 MDQ 、 $MNpop$ 、 $MDpop$ は既知であるため市町村単位で n を得ることができる。

基準地域メッシュにおける1メッシュ当たりの生活用水使用量 mlq は、当該メッシュの夜間人口を $mnpop$ 、昼間人口を $mdpop$ とすると式(13)と同様、

以下のように表現することができる。

$$mlq = lq \left[\left(\frac{1}{1+n} \right) mnpop + \left(\frac{n}{1+n} \right) mdpop \right] \quad (15)$$

式(13)、(15)より mlq は以下の式で得ることができる。

$$mlq = MLQ \frac{\left[\left(\frac{1}{1+n} \right) mnpop + \left(\frac{n}{1+n} \right) mdpop \right]}{\left[\left(\frac{1}{1+n} \right) MNpop + \left(\frac{n}{1+n} \right) MDpop \right]} \quad (16)$$

表-1に各市町村のメッシュ数、基準地域メッシュ単位における生活用水使用量の平均値、最小値、最大値、標準偏差を示す。メッシュ数は各市町村の面積、平均値は各市町村の単位面積当たりの生活用水量に相当する。表-1が示すように、つくば市がメッシュ数と最大値において第1位であり、土浦市が平均値と標準偏差において第1位である。図-4に

表-1 基準地域メッシュ単位における生活用水量の集計結果 (m³/日/メッシュ)

市町村名	メッシュ数	平均値	最小値	最大値	標準偏差
つくば市	253	213	0	3,609	340
阿見町	64	129	0	819	177
旭村	54	53	0	145	36
茨城町	119	75	0	441	79
益子町	85	89	0	586	117
下館市	85	230	14	1,741	275
下妻市	58	132	0	935	148
河内町	44	57	0	317	60
霞ヶ浦町	68	65	0	203	46
岩間町	46	61	0	405	83
岩瀬町	83	52	0	359	77
牛久市	59	259	6	1,319	340
牛久保町	18	67	5	307	77
協和町	34	77	0	296	68
玉造町	48	63	11	456	71
玉里村	15	206	50	580	144
基崎町	24	412	59	1,310	379
江戸崎町	49	98	0	498	88
佐原市	114	117	0	1,436	219
桜川村	35	41	0	161	41
鹿嶋市	91	152	0	1,115	203
小見川町	58	116	0	793	173
小川町	60	81	0	462	91
新治村	31	80	0	375	96
新利根町	28	79	0	280	76
真壁町	63	49	0	327	69
神栖町	73	181	0	1,026	195
石岡市	57	256	0	1,608	335
千代田町	45	149	1	1,068	258
大洋村	43	67	0	176	52
大和村	28	41	0	135	35
潮来町	40	190	0	871	214
土浦市	80	438	0	2,564	479
東町	59	61	0	332	62
波崎町	67	132	0	733	154
八郷町	149	37	0	395	45
美浦村	32	248	27	838	216
美野里町	59	93	12	438	82
鉢田町	101	70	0	1,015	114
北浦村	52	50	8	170	32
麻生町	57	60	0	345	59
明野町	44	64	0	332	60
利根町	22	253	13	1,388	351
龍ヶ崎市	70	234	0	1,452	316
市町村平均	63	129	5	776	151

各市町村のメッシュ数と標準偏差の関係、図-5に各市町村の平均値と標準偏差の関係を示す。メッシュ数と標準偏差の相関関係は $R^2=0.04$ と低く、平均値と標準偏差の相関関係は $R^2=0.88$ と高い。市町村における生活用水使用量の標準偏差は、市町村の面積ではなく、市町村の単位面積当たり生活用水量と密接に関連している。すなわち、人口密度の大きい市町村ほど生活用水使用量の局所性が大きいことが認められる。

以上の推定フローを図-6に示す。

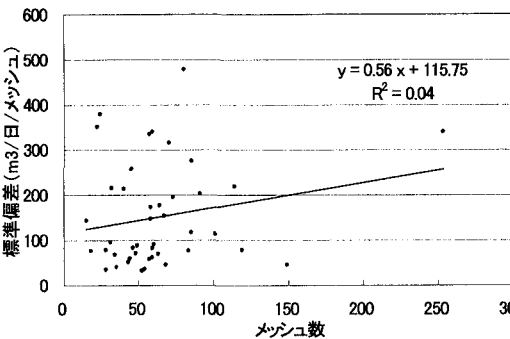


図-4 メッシュ数と標準偏差の相関関係

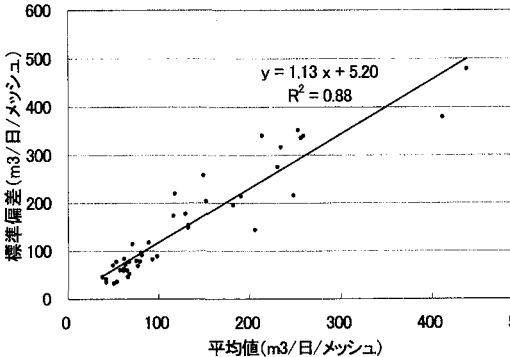


図-5 平均値と標準偏差の相関関係

STEP 1

市町村の夜間人口に対する昼間人口の水使用比率 (n)を 式(14)により算出する。

STEP 2

mlq を n , MLQ , $Mnpop$, $Mdpop$, $mnpop$, $mdpop$ を用いて式(16)により算出する。

図-6 基準地域メッシュ単位的生活用水使用量の推定フロー

5. 基準地域メッシュ単位における生活系処理量

生活用水は、住居、事業所等で使用された後、生活排水として、下水道、合併浄化槽、単独浄化槽等に流入する。下水道に流入した生活排水は下水管渠を通じて下水処理場に搬送され生活系処理量として近傍の河川、湖沼、海域に流出する。合併浄化槽、

単独浄化槽に流入した生活排水は近傍の河川等に流出する。生活排水を下水道に流入する排水量とその他にメッシュ単位で分離するためには、水洗化人口をメッシュ単位で推定する必要がある。

下水道統計（（社）日本下水道協会）には下水道人口及び水洗化率が市町村単位で記載されている。茨城県では下水道計画図⁴⁾を作成しており、その図面には将来の下水道計画区域だけでなく過去の下水道

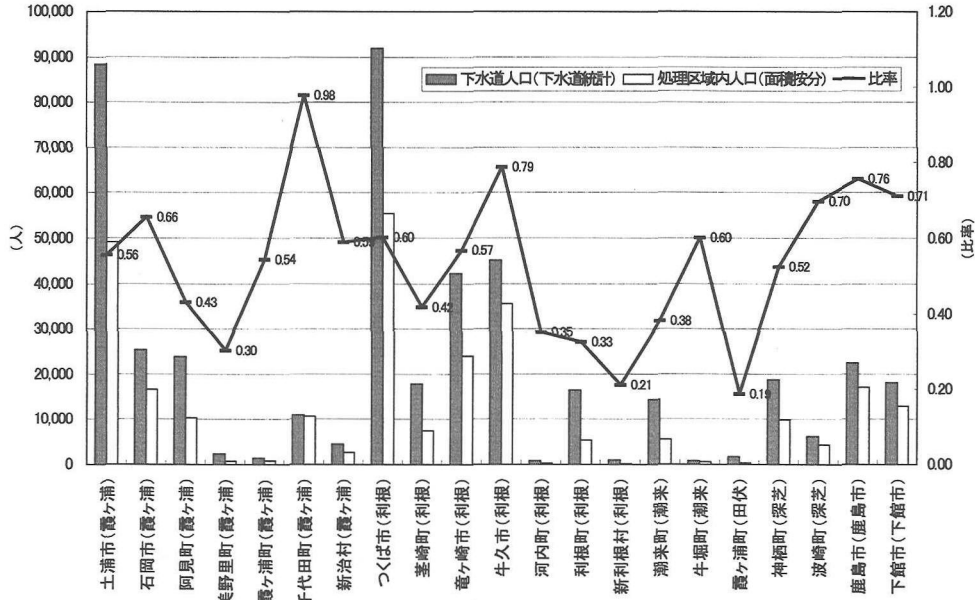


図-7 下水道人口と面積按分人口

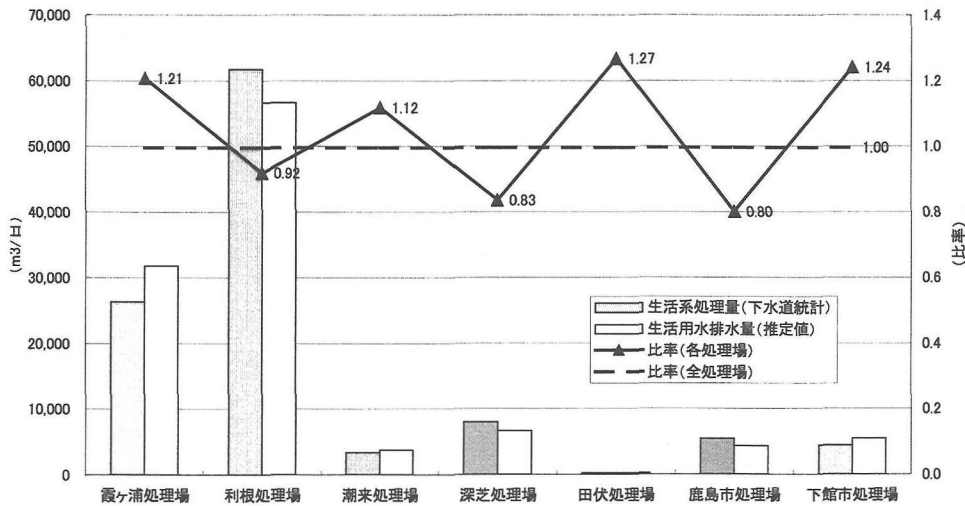


図-8 生活系処理量と推定値

整備区域が記載されている。そこで、下水道整備区域と基準地域メッシュを重ね合わせてメッシュ単位の面積占有率を算定した。これにメッシュ単位の夜間人口を掛け合わせてメッシュ単位の下水道人口を推定した。図-7は、メッシュ単位の下水道人口を市町村単位で集計した下水道人口と下水道統計に記載されている下水道人口を比較したものである。下水道整備区域の存在する全ての市町村において、推定下水道人口が、下水道統計資料の下水道人口を下回っている。この理由として、基準地域メッシュ内においても人口分布に偏りがあること、及び、下水道整備は人口密集地域が優先的に行われることが考えられる。すなわち、下水道整備には人口密集地域を優先的に囲い込む特性があり、メッシュ単位における下水道人口の推定にはこの特性を反映させる必要がある。このため、各メッシュの推定下水道人口の市町村集計値が下水道統計資料の下水道人口に等しくなるように、各メッシュの面積占有率に一定の占有率を加算して、各メッシュの下水道人口を確定した。

メッシュ単位の水酸化人口は、メッシュ単位の下水道人口に各市町村の水酸化率を掛け合わせて算出した。これは夜間人口を基に推定されたものであるため夜間水酸化人口である。

メッシュ単位の夜間水酸化人口と昼間水酸化人口の比率をメッシュ単位の夜間人口と昼間人口の比率に等しいとすれば、式(16)はメッシュ単位の生活系処理量の推定に用いることができる。

基準地域メッシュにおける1メッシュ当たりの生活系処理量 mle は、当該メッシュの夜間水酸化人口を $mnepop$ 、昼間水酸化人口を $mdpop$ とすると、式(16)と同様、以下のように表現することができる。

$$mle = MLQ \frac{\left[\left(\frac{1}{1+n} \right) mnepop + \left(\frac{n}{1+n} \right) mdepop \right]}{\left[\left(\frac{1}{1+n} \right) MNpop + \left(\frac{n}{1+n} \right) MDpop \right]} \quad (17)$$

メッシュ単位の生活系処理量を式(17)によって推定し、これを下水道処理場で集計し、下水道処理場の生活系処理量を推定した。この推定値と下水道統計資料の生活系処理量の関係を図-8に示す。

流域 20 市町村に関連する 7 箇所の下水道処理場で推定した生活系処理量の合計値は下水道統計資料に記載されている生活系処理量の合計値に対して比率で 1.00 と近似した。一方、霞ヶ浦処理場で 1.21、利根処理場で 0.92、潮来処理場で 1.21、深芝処理場で 0.83、田伏処理場で 1.24、鹿島市処理場で 0.80、

下館市処理場で 1.24 と処理場単位では統計値との差が認められた。

図-8における推定値と統計値の差は、処理場単位でメッシュ単位の推定値に一定の比率を掛け合わせて統計値に等しくなるように補正し、各メッシュの生活系処理量を確定した。

以上の推定フローを図-9に示す。

STEP 1

下水道計画図をデジタイズし、GISにより、下水道整備区域と基準地域メッシュを重ね合わせて下水道区域の基準地域メッシュに対する面積占有率を算出する。

STEP 2

$mnpop$ に下水道区域の面積占有率を掛け合わせ、市町村単位で集計した後、「下水道統計」に記載されている下水道人口と一致するように補正し、メッシュ単位の夜間水酸化人口 ($mnepop$) 及び昼間水酸化人口 ($mdepop$) を推定する。

STEP 3

mle を n 、 MLQ 、 $Mnpop$ 、 $Mdpop$ 、 $mnepop$ 、 $mdepop$ を用いて式(17)により算出する。

STEP 4

mle を下水道処理場単位で集計し、「下水道統計」に記載されている生活系処理量と比較する。

図-9 基準地域メッシュ単位の生活系処理量の推定フロー

6. 昼間人口を考慮しない推定結果との比較

人間は夜間と昼間では居所を異にすることが多い。このため、基準地域メッシュ単位で生活用水に係る人工系水循環を把握するためには、夜間人口のみならず昼間人口を考慮する必要があると考えられる。

一方、国勢調査、水道統計、下水道統計等の人口に係る統計データは夜間人口が主体であるため、昼間人口を考慮しないで各種推定が行われる可能性があるとして想定される。ここでは比較のために、昼間人口を考慮せず夜間人口のみで基準地域メッシュ単位の生活用水量と生活系処理量を推定した。すなわち、3. で推定した各市町村の生活用水量をベースに $n=0$ として、式(16)、(17)により、同様の計算を行った。

表-2は、生活用水量における両者の推定方法の差を市町村単位で集計したものである。両者の差 [(昼間人口を考慮する) - (昼間人口を考慮しない)]

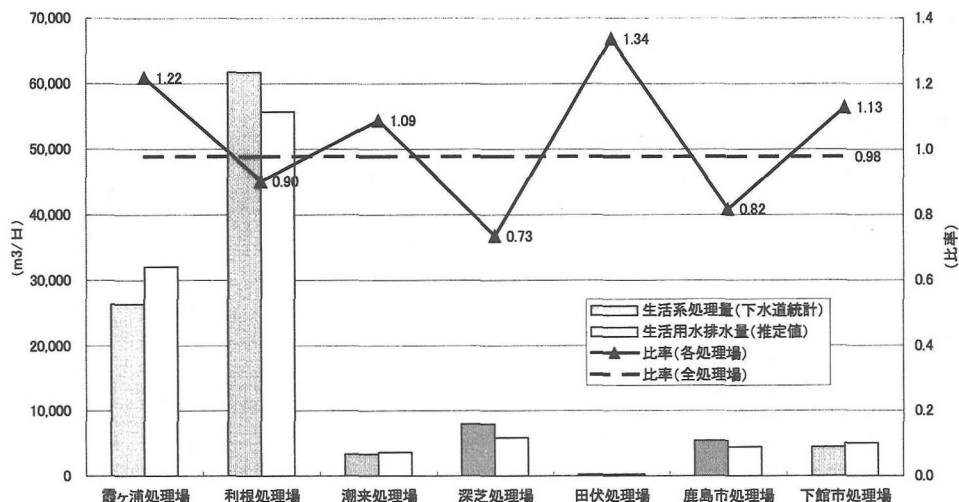


図-10 生活系処理量と推定値（昼間人口考慮せず）

は、 $-792\text{m}^3/\text{日}$ （つくば市） $\sim +2,354\text{m}^3/\text{日}$ （つくば市）であり、局所的に大きな相違があることが認められる。

図-10 は、メッシュ単位的生活系処理量を市町村単位で集計した生活系処理量と下水道統計資料の生活系処理量の関係である。7箇所の下水処理場における生活系処理量の合計値は、下水道統計資料に記載されている生活系処理量の合計値に対して比率で0.98と近似する。一方、霞ヶ浦処理場で1.22、利根処理場で0.90、潮来処理場で1.09、深芝処理場で0.73、田伏処理場で1.34、鹿島市処理場で0.82、下館市処理場で1.13と処理場単位では統計値との差が認められる。夜間人口のみならず昼間人口を考慮した推定値と比べて合計値で統計値との差が0.02大きくなっている。特に、深芝処理場では0.10、田伏処理場では0.07大きくなっている。これは、深芝処理場に係る下水道整備地域は鹿島臨海工業地域を主な対象地域にしているため、昼間人口が夜間人口に比べて著しく多いことが影響しているものと考えられる。逆に、田伏処理場に係る下水道整備地域は一般住居地域を主な対象地域にしているため昼間人口が夜間人口に比べてかなり少ないことが影響しているものと考えられる。一方、下館市処理場では0.11、差が小さくなっている。これは、1人当たりの生活用水量、夜間に対する昼間の生活用水量使用比率、昼間人口1人当たりの事業所用水量を一定として推定しているが、同一市町村内においてもこれらの値に地域格差があることが影響しているものと考えられる。

表-3 は、生活系処理量（補正後）における両者の

推定方法の差を市町村単位で集計したものである。両者の差[（昼間人口を考慮する）－（昼間人口を考慮しない）]は、 $-765\text{m}^3/\text{日}$ （つくば市） $\sim +1,949\text{m}^3/\text{日}$ （つくば市）であり、生活用水量と同様、局所的に大きな相違があることが認められる。

以上の推定フローを図-11 に示す。

STEP 1

市町村の夜間人口に対する昼間人口の水使用比率（ n ）を0とする。

STEP 2

mlq を $n, MLQ, Mnpop, Mdpop, mnpop, mdpop$ を用いて式(15)により算出する。

STEP 3

mle を $n, MLQ, Mnpop, Mdpop, mnpop, mdpop$ を用いて式(17)により算出する。

STEP 4

mle を下水処理場単位で集計し、「下水道統計」に記載されている生活系処理量と比較する。

STEP 5

mlq, mle を昼間人口を考慮した mlq, mle と比較する。

図-11 基準地域メッシュ単位的生活用水量と生活系処理量の推定フロー（昼間人口考慮せず）

7. 結論

- (1) 昼間人口を考慮して、基準地域メッシュ単位で生活系処理量を推定した。霞ヶ浦流域 20 市町村に関連する 7 箇所の下水処理場に係る推定生活系処理量の合計値は、真値として取り上げた下水道統計資料に記載されている生活系処理量の合計値に対して比率で 1.00 と近似した。一方、処理場単位の集計値では 0.80～1.24 の差が認められた。
- (2) 昼間人口を考慮しないで、基準地域メッシュ単位で生活系処理量を推定した。7 箇所の下水処理場に係る推定生活系処理量の合計値は、下水道統計資料に記載されている生活系処理量の合計値に対して比率で 0.98 と近似した。一方、処理場単位では処理場別には 0.73～1.34 の差が

認められた。

- (3) (1)と(2)を比較すると、昼間人口を考慮した推定方法は、昼間人口を考慮しない推定方法と比べて、総体的には、若干、精度がよいことが認められる。特に、深芝処理場では 0.10、田伏処理場では比率が 0.07 向上している。これは、深芝処理場に係る下水道整備地域は鹿島臨海工業地域を主な対象地域にしているため昼間人口が夜間人口に比べて著しく多いこと、逆に、田伏処理場に係る下水道整備地域は一般居住地域を主な対象地域にしているため昼間人口が夜間人口に比べてかなり少ないことが影響しているものと考えられる。
- (4) 基準地域メッシュ単位で推定した生活系処理量（確定後）において、昼間人口を考慮した推定方法と昼間人口を考慮しない推定方法の差は、

表-2 生活用水使用量における集計結果の比較 (m³/日/メッシュ)

市町村名	メッシュ数	平均値	最小値	最大値	標準偏差
つくば市	253	0	-792	2,354	173
阿見町	64	0	-140	239	57
旭村	54	0	-16	82	14
茨城町	119	0	-71	117	20
益子町	85	0	-74	224	38
下館市	85	0	-174	241	71
下妻市	58	0	-66	267	45
河内町	44	0	-18	45	11
岩間町	46	0	-55	70	22
岩瀬町	83	0	-42	68	16
牛久市	59	0	-225	330	74
牛堀町	18	0	-18	28	12
協和町	34	0	-35	99	22
玉造町	48	0	-23	55	15
玉里村	15	0	-96	175	71
茎崎町	24	0	-452	310	155
江戸崎町	49	0	-47	94	26
佐原市	114	0	-85	218	42
桜川村	35	0	-19	26	11
鹿島市	91	0	-290	949	113
出島村	68	0	-33	67	16
小見川町	58	0	-99	222	43
小川町	60	0	-53	108	26
新治村	31	0	-50	96	23
新利根町	28	0	-33	66	16
真壁町	63	0	-38	45	13
神栖町	73	0	-127	330	70
石岡市	57	0	-197	379	81
千代田町	45	0	-129	151	44
大洋村	43	0	-26	67	18
大和村	28	0	-29	68	20
潮来町	40	0	-129	152	56
土浦市	80	0	-305	565	123
東町	59	0	-32	78	20
波崎町	67	0	-112	95	32
八郷町	149	0	-47	57	12
美浦村	32	0	-204	504	136
美野里町	59	0	-56	136	29
鉾田町	101	0	-45	437	46
北浦村	52	0	-14	68	12
麻生町	57	0	-29	136	23
明野町	44	0	-40	78	22
利根町	22	0	-194	292	85
竜ヶ崎市	70	0	-160	552	80
市町村平均	63	0	-112	244	47

表-3 生活系処理量における集計結果の比較 (m³/日/メッシュ)

市町村名	メッシュ数	平均値	最小値	最大値	標準偏差
つくば市	253	3	-765	1,949	141
阿見町	64	0	-53	96	17
旭村	54	0	0	0	0
茨城町	119	0	0	0	0
益子町	85	0	0	0	0
下館市	85	0	-133	76	20
下妻市	58	0	0	0	0
河内町	44	0	-4	0	1
岩間町	46	0	0	0	0
岩瀬町	83	0	0	0	0
牛久市	59	-7	-227	130	53
牛堀町	18	0	-2	0	1
協和町	34	0	0	0	0
玉造町	48	0	0	0	0
玉里村	15	0	0	0	0
茎崎町	24	-7	-442	287	135
江戸崎町	49	0	0	0	0
佐原市	114	0	0	0	0
桜川村	35	0	0	0	0
鹿島市	91	0	-157	235	36
出島村	68	0	-18	17	3
小見川町	58	0	0	0	0
小川町	60	0	0	0	0
新治村	31	-1	-30	15	7
新利根町	28	0	-3	1	1
真壁町	63	0	0	0	0
神栖町	73	1	-182	290	61
石岡市	57	0	-86	148	27
千代田町	45	-4	-85	15	16
大洋村	43	0	0	0	0
大和村	28	0	0	0	0
潮来町	40	0	-106	98	33
土浦市	80	3	-166	426	76
東町	59	0	0	0	0
波崎町	67	-1	-88	62	20
八郷町	149	0	0	0	0
美浦村	32	0	0	0	0
美野里町	59	0	-30	19	5
鉾田町	101	0	0	0	0
北浦村	52	0	0	0	0
麻生町	57	0	0	0	0
明野町	44	0	0	0	0
利根町	22	-2	-194	292	85
竜ヶ崎市	70	-1	-108	388	56
市町村平均	63	0	-65	103	18

-765m³/日～+1,949 m³/日であり、局所的に大きな相違のあることが認められた。少なくとも、人間が昼と夜とで居場所を異にすることが多いことを考慮すれば、昼間人口を考慮した推定方法を採用すべきであると考えられる。

8. 今後の課題

- (1) 本研究の将来目標は、基準地域メッシュ内の人工系水循環の変化が、身近な河川・湖沼の水環境に及ぼす影響を定量的に評価することである。これに必要とされる人工系水循環の推定精度を自然系水循環モデル等との連携により検証する必要がある。
- (2) 本研究では、夜間に対する昼間の平均的な純生活用水使用比率 m を、勤務時間/勤務外時間=8時間/16時間=0.5と仮定している。これは、実測値から設定した比率ではないため、精度を向上させるための検討が必要である。
- (3) 本研究では、1995年における1人あたりの純生活用水量 hq は、約239リットル/日と推定した。これは、1980年、1985年、1989年の数少ない実測値からの外挿値であるため、精度を向上させるための検討が必要である。

9. おわりに

基準地域メッシュ単位で生活用水に係る人工系水循環を把握することは、メッシュ単位の夜間人口、昼間人口等の水循環に密接に関連するデータが取得できたとしても基礎となる市町村単位の水使用量等に地域格差があるため完全な精度で推定することはできない。しかし、流域管理のような政策的な局面では完全な精度よりもメッシュ間の相対的な比較が重要視されるので、このような推定手法はケースバイケースで許容されるものと考えられる。関係機関において上下水道、灌漑等の水循環関連施設の整備状況を広域的に地図化することは容易ではない。しかし、地図化を少なくとも5年に1回の国勢調査実施年に併せて行えば、GISにより標準地域メッシュ単位で人工系水循環を推定することは可能であり、流域管理を含めた健全な水循環施策の推進に寄与するものと考えられる。

参考文献

- 1) 建設省国土地理院：数値地図ユーザズガイド（改訂版），pp1-4，1994
- 2) 河原能久，末次忠司，賈仰文，倪广恒：都市河川流域の水循環解析，土木技術資料41-12，pp38-43，1999
- 3) 国土庁長官官房水資源部：日本の水資源，pp51-53，1993
- 4) 茨城県土木部：茨城県下水道計画図（平成7年3月31日現在），1995

Modeling the hydrological cycle of the Lake Kasumigaura watershed

Kazuo Abe Yutaka Oyagi Yoshiya Yasuda

We estimated domestic water consumption and sewerage discharge in each standard grid cell across the 44 municipalities in the Lake Kasumigaura watershed for 1995. Domestic water consumption ranged from -792 to +2,354 m³/d; sewerage discharge ranged from -765 to +1,949 m³/d between the method in case that only nighttime population was considered and that both nighttime and daytime population was considered. Consideration of the daytime population was important in accurately modeling the hydrological cycle in the watershed.