

博士論文

河川流量の不確定性を考慮した
水・汚濁物質収支モデルによる
流域管理施策の評価手法に関する研究

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

荒巻俊也

1995年12月

博士論文

河川流量の不確定性を考慮した
水・汚濁物質収支モデルによる
流域管理施策の評価手法に関する研究

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

荒巻俊也

1995年12月

目次

第1章 はじめに	1
第2章 本研究の背景と目的	3
2. 1 河川流域におけるさまざまな環境問題	3
2. 1. 1 渇水と水利用	3
2. 1. 2 河川水質の現状	7
2. 2 既存の研究	7
2. 2. 1 流域管理施策による水循環の変化の定量化に関する研究	8
2. 2. 2 流域管理施策による汚濁物質の動き変化の定量化に関する研究	10
2. 2. 3 経済的な指標の算出に関する研究	10
(1) 総合河川経済評価体系	11
(2) その他の評価手法に関する研究	13
2. 3 本研究の目的	13
第2章の参考文献、参考資料	14
第3章 対象流域の概要とシミュレーションモデルの構造	16
3. 1 利根川水系の概要	16
3. 1. 1 地理的地位	16
3. 1. 2 水管理施設概要	17
3. 1. 3 河川流量の現況	20
3. 1. 4 河川水質の現況	21
3. 1. 5 水使用の現況	21
3. 2 シミュレーションモデルの基本構造	23
3. 2. 1 時間と空間の構成単位	23
3. 2. 2 小流域内における水・汚濁物質の動き	23
3. 2. 3 シミュレーションの全体像とパラメーター	26
3. 3 自然発生流量	28
3. 3. 1 水循環のシミュレーションモデルにおける自然発生流量の形式	28
(1) 自然発生流量の形式	28
(2) 各形式の特徴	29
3. 3. 2 自然発生流量系列の作成	30
(1) 自然発生流量の確率分布の作成	30
(2) 自然発生流量の相互相関と自己相関	31
(3) 自然発生流量の作成方法	31
3. 3. 3 自然発生流量作成用のパラメーター	34
(1) 蒸発散量	34
(2) 他流域、地下水との水収支	34

(3) 相関性の指標	36
3. 3. 4 自然発生流量の再現性の検討	36
(1) 相互相関性、自己相関性を考慮によることによる影響	37
(2) 乱数のばらつきによる影響	39
(3) 代表流域の選択による影響	41
(4) 自然発生流量の再現性の検討のまとめ	41
3. 4 評価指標	42
3. 4. 1 水・汚濁負荷収支シミュレーションにおける評価指標	42
(1) 利水安全度に関する指標	42
(2) 利水安全度の経済的指標への変換	43
3. 4. 2 構築したモデルにおける評価指標	43
3. 4. 3 渇水被害額の算出方法	45
(1) 渇水被害額原単位の算出	45
(2) 流域外滞り水量や最下流地点流量の渇水被害原単位	45
3. 5 第3章のまとめ	47
第3章の参考文献、参考資料	48
第4章 モデルの精度に関する考察	49
4. 1 シミュレーションモデルの標準設定	49
4. 1. 1 パラメーター群の標準設定	49
4. 1. 2 ダム群運用の標準設定	50
4. 1. 3 標準設定を用いたシミュレーションの再現性の検討	51
(1) 水需要量と発生負荷量	51
(2) 水量の再現性	52
(3) 水質の再現性	56
4. 2 水量に関する設定についての考察	58
4. 2. 1 自然発生流量系列の与える影響	58
4. 2. 2 水量に関するパラメーター群の不確かさが与える影響	59
(1) 生活系水利用に関する原単位	59
(2) 製造業系水利用に関する原単位	60
(3) 農業系水利用に関する原単位	61
(4) 利根導水路導水量	63
(5) 用途別・水源別計画取水量と取水可能量	63
(6) 河川維持流量	65
4. 2. 3 ダム群の運用に関する設定についての考察	66
(1) 各ダム計画放流量に関する設定	66
(2) 取水制限に関する設定	70
4. 2. 4 水量に関する設定がシミュレーション結果に与える影響の比較	73
4. 3 水質に関する設定についての考察	77
4. 3. 1 生活系汚濁負荷に関する設定	77

(1) 各下水処理場の放流水質	7 8
(2) 排水処理別人口当たり排出汚濁負荷量	7 8
(3) 処理形態別の人口	8 0
4. 3. 2 製造業系汚濁負荷に関する設定	8 1
4. 3. 3 畜産系汚濁負荷に関する設定	8 1
4. 3. 4 面源汚濁負荷に関する設定	8 2
4. 3. 5 流達率	8 3
4. 3. 6 水質に関する設定のシミュレーション結果に与える影響の比較	8 4
4. 4 渇水被害額原単位に関する設定についての考察	8 6
4. 4. 1 渇水被害額原単位の不確かさ	8 6
4. 4. 2 渇水被害額原単位の不確かさが被害額に与える影響	8 7
(1) 標準設定における比較	8 7
(2) 最大取水制限率を変化させた場合	8 8
(3) 取水制限開始貯水量を変化させた場合	8 8
4. 5 第4章のまとめ	9 1
第4章の参考文献、参考資料	9 2
第5章 利根川流域における個別施策の効果に関する考察	9 3
5. 1 水量安定化に関する施策の効果	9 3
5. 1. 1 節水に関する施策の効果	9 3
(1) 生活系水利用における節水効果	9 3
(2) 製造業系水利用における節水効果	9 5
(3) 農業系水利用における節水効果	9 6
(4) 節水に関する効果のまとめ	9 7
5. 1. 2 ダム建設にともなう効果	9 8
(1) 既存のダムの効果	9 8
(2) 新設のダムの効果	1 0 0
(3) ダム建設による効果のまとめ	1 0 0
5. 1. 3 上水道の有効給水率の改善に関する効果	1 0 2
5. 1. 4 下水処理水の再利用の効果	1 0 3
5. 1. 5 水量安定化に関する施策の効果のまとめ	1 0 4
5. 2 水質保全に関する施策の効果	1 0 5
5. 2. 1 下水道による効果	1 0 5
5. 2. 2 合併浄化槽による効果	1 0 6
5. 2. 3 農業における負荷削減の効果	1 0 7
5. 2. 4 水質保全に関する施策の効果のまとめ	1 0 8
5. 3 第5章のまとめ	1 0 9
第5章の参考文献、参考資料	1 0 9

第6章 流域の将来予測と流域管理計画の策定	110
6.1 流域状況の将来予測	110
6.1.1 パラメーターの将来予測	110
(1) 人口	110
(2) 土地利用	111
(3) 畜産業	111
(4) 製造業出荷額	111
6.1.2 将来の流域状況と評価指標の変化	112
6.2 流域管理計画による効果の定量化	113
6.2.1 ダム建設に対する代替案の検討	113
(1) 生活系水利用における節水との比較	114
(2) 有効給水率の改善との比較	115
(3) 下水処理水の再利用との比較	116
(4) 施策の組み合わせによる代替案の検討	116
6.2.2 栗橋地点におけるBOD 75%値の環境基準の達成計画	117
6.2.3 流域管理計画による流域の将来像の予測	118
6.3 第6章のまとめ	120
第6章の参考文献、参考資料	120
第7章 結論	121
謝辞	124
付録A 各パラメーターの標準設定	125
付録B シミュレーションの略号と内容	143

第1章 はじめに

河川は、人間の生存やさまざまな生産活動を行うために不可欠な淡水の供給源として、舟運などにおけるさまざまな物質を運搬する媒体として、さまざまなスポーツやレクリエーションが行われる場所として、そして洪水などにより人間の生命や生活に脅威を与えるものとしてなど、人間の生活と多様な関わりを持っている。

日本においては、経済の高度成長に伴った都市への人口集中により、水源としての河川の利用率の上昇による渇水の頻発や土地被覆の変化による都市型洪水の増加、都市周辺での水質の悪化などの河川に関わるさまざまな問題が起こっている。これらの問題に対しては、ダムの建設や下水道の整備、下水処理水の再利用、節水の奨励、個別合併浄化槽の普及などさまざまな施策が計画、実行されている。このうち、ダム建設や下水道などの大規模な対策はその効果も大きい、自然環境に与える影響やかかる費用が大きくなるなど負の効果（＝費用）も大きくなる傾向にある。よって、これらの対策を実行する前には流域の将来予測や対策による費用と便益について分析し、その対策が適切であるかを評価する必要がある。そのためには、その河川を含んだ流域全体で水や汚濁物質の動きが将来もしくはその対策によりどのように変化するかを正確に捉え、その状況変化がどのような便益や費用を発生するかを検討しなければならない。

流域における水や汚濁物質の動きに関する研究は今までに数多く行われてきているが、その動きが複雑でまた流域間での違いも大きく、まだ不明確な点が多いのが実状である。そのため、降雨からの流出現象などの個別の事象に注目した研究が多くあるのに比べて、水循環の全体像を捉えて行っている研究は比較的少なくなっている。またこの他にも、対象地域が広くなると取り扱う情報が膨大になってしまうこともあり扱うパラメーターを全体的に視野に入れたものでも狭い流域を対象としたものが多いこと、降雨などの水量に関する事象を予測するときにその値は不確定性（各季節において確定値をとらずにある種の分布で表される）を有するが、この不確定性を考慮しながら水や汚濁物質の動きを検討している研究例が少ないこと、下水道などの施策は水量と水質両方に与える影響を考慮する必要があるが、これを同じ枠組みの中で評価している例が少ないことなどが既存の研究の問題点としてあげられる。

本論文では、流域における低水及び水質管理施策のもつ効果や流域状況の変化が与える影響を定量化するモデルを構築し、これを首都圏の貴重な水源である利根川水系に適用して、このモデルが持つ問題点を検討するとともに利根川水系におけるさまざまな流域管理施策の効果や将来の状況などについて検討する。ここで構築したモデルは前述したこれまでの研究例の問題点を考慮して、水循環全体を対象として水量と水質に関して同時にシミュレーションを行っていること、モデルの入力値である発生流量の不確定性を考慮にいられていること、などの特徴を持つものである。

本論文の構成を以下に示す。

第2章では、日本の河川における水量、水質に関する問題の実状を述べ、また既存の流域管理施策の評価に関する研究をまとめて問題点を示すことにより、本研究の目的や位置づけを詳細に説明している。

第3章では、対象とした利根川水系、ならびに本研究で構築したモデルの概要を説明している。このうち水文事象の不確定性を考慮するうえで重要な自然発生流量系列の作成に関しては、その再現性の検討など詳しく考察している。

第4章では、対象流域の状況を表したパラメーター群やダムの運用方法を標準設定として定めてシミュレーションを行うことによりその再現性を検討し、またモデル自体の精度を検証するとともに、パラメー

ター等を設定するときに不確かさが考えられるものについてはその精度がシミュレーション結果に与える影響について検討している。

第5章では、このモデルを用いて節水対策やダム建設、下水道整備などの個々の流域管理施策の効果を定量化し、個々の施策の特性を検討するとともに相互比較を行っている。

第6章では、このモデルにおける個々のパラメーターの将来における変化を推定することにより対象流域の2000年の状況を予測し、ダム建設に対する代替案の検討や水質の環境基準を達成するために必要な施策の検討、ある流域管理計画を想定した場合の流域の将来像の予測を行っている。

第7章では、本論文による成果をまとめ、今後の課題を示している。

第2章 本研究の背景と目的

本章では、河川に関わる問題の実状を述べ、流域における水や汚濁物質の動きやさまざまな流域管理施策の効果などに関する既存の研究をまとめ、それに対する本研究の位置づけを示す。

2. 1では日本における河川における渇水と水利用に関する問題、河川水質の問題についてその実状を説明している。

2. 2では、流域管理施策による水循環の変化の定量化に関する研究、汚濁物質の動きの変化の定量化に関する研究、経済的な指標の算出に関する研究にわけて、既存の研究例をまとめ、その問題点について検討している。

2. 3では、2. 1～2. 2をふまえて本研究の目的と位置づけを述べている。

2. 1 河川流域におけるさまざまな環境問題

2. 1. 1 渇水と水利用

我が国は世界的に見ると多雨地帯にあり、表2-1に示すように年平均降水量が約1,730mm (1956～85年までの全国約1,300地点の平均)で世界の平均降水量約970mmの2倍弱となっている。しかし、これを一人当たりの年平均降水総量にすると、約5,300m³と世界の平均である27,000m³の5分の1程度であり、また表2-2に示すように日本の川は河川係数が高く、河川水を利用するうえで不利なことを考えると、水資源に恵まれているとは言えない状況である。

水資源の存在量の地域差も大きな問題である。表2-3に示したように一人当たりの水資源賦存量(=降水総量-蒸発散総量)で考えると、関東臨海、近畿臨海、北九州、沖縄などが少なく、これらの地域で頻繁に渇水が起こる原因になっている。

表2-1 世界各國の降水量

国名	人口 (万人)	面積 (千km ²)	年降水量 (mm/年)	年降水総量 (億m ³ /年)	一人当たり年降水総量 (m ³ /年・人)
オーストラリア	1,597	7,687	460	35,360	221,416
アメリカ合衆国	24,160	9,373	760	71,235	29,485
サウジアラビア	1,201	2,150	100	2,150	17,902
フランス	5,539	552	750	4,140	7,474
中華人民共和国	107,222	9,597	660	63,340	5,907
イギリス	5,615	244	1,064	2,596	4,624
日本	12,361	378	1,728	6,528	5,281
世界	491,700	135,793	973	1,321,266	26,871

※ 日本の水資源¹⁾より抜粋

表2-2 日本及び世界の河川の河状係数

河川名	最大流量 (m^3/s)	最小流量 (m^3/s)	河状係数	備考
利根川	10,700	6	1,783	栗橋
淀川	7,970	73	109	枚方
信濃川	6,100	54	113	小千谷
ナイル川	13,500	300	45	Cairo
メコン川	40,000	1,700	35	
ミシシッピー川	58,900	2,815	21	Vicksburg
ライン川	10,000	660	16	Koln

※ 水資源の科学²⁾より抜粋

表2-3 地域別渇水年降水量及び水資源賦存量

地域区分	人口 (千人) (1990年)	降水量 ($\text{mm}/\text{年}$)	水資源賦存量 ($\text{億m}^3/\text{年}$)	一人当り 水資源賦存量 ($\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$)
北海道	5,644	953	400	7,087
東北	12,213	1,345	623	5,101
関東内陸	7,600	1,223	161	2,118
関東臨海	31,797	1,207	88	277
東海	16,377	1,667	490	2,992
北陸	3,108	2,046	167	5,373
近畿内陸	5,200	1,377	87	1,673
近畿臨海	15,214	1,462	121	795
山陰	1,397	1,557	90	6,442
山陽	6,348	1,351	150	2,363
四国	4,195	1,664	117	4,219
北九州	8,489	1,504	117	1,378
南九州	4,807	1,869	258	5,367
沖縄	1,222	1,665	15	1,227
全国	123,611	1,377	2,945	2,382

※ 日本の水資源¹⁾より抜粋

一人当りの水資源賦存量が最も少ない関東臨海地方において主要な水源である利根川水系では、戦後間もない頃から水供給の増大のために多くのダムが造られてきており、現在では主なものでも11を数え、計画中のものも幾つかある。しかし、ダム適地の減少、地域の住民や環境への影響などを考えると、今後ダム建設による水供給の増大は望まれない状況である。一方、首都圏への人口集中は近年になってもいぜんとして続いており、水需給のアンバランスにますます拍車がかかっている。この23年間（1973～95）にも、表2-4に示すように1973、78、79、80、82、87、90、94年と3年に1回は取水制限を行わなければならないような状況になっている。

表2-4 利根川水系における過去20年間の渇水

年	取水制限期間	最大取水制限率(%)			水源の最低貯水率(%)
		上水	工水	農水	
1973	8/16~9/6	20	20	0	19
1978	8/10~10/6	20	20	20	16
1979	7/9~7/17 7/21~7/25 7/31~8/4 8/11~8/18	10	10	10	45
1980	7/5~7/8	10	10	10	51
1982	7/20~7/26	10	10	10	53
1987	6/16~8/25	30	30	30	18
1990	7/23~8/9	20	20	20	24
1994	7/22~9/19	30	30	30	

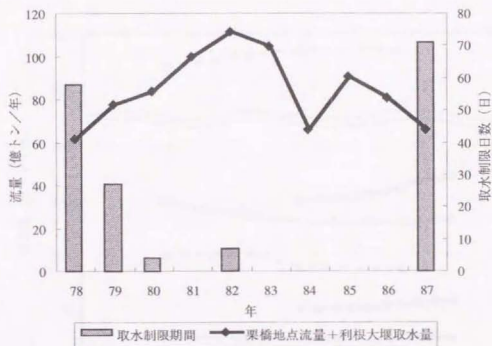
※ 日本の水資源¹⁾より抜粋

図2-1 利根川水系における取水制限日数と栗橋地点流量と利根大堰取水量の和

このうち1978~87年の取水制限日数と実際の年間流量の関係を図2-1に示す。年間流量には栗橋地点流量と利根大堰の取水量の和を用いており、これは栗橋地点までの利根川上中流域におけるおおよその発生流量を表しているものと考えられる。この図から、1978、84、87年などが年間流量の少ない年と考えられるが、84年のようにこれらの年が必ずしも取水制限日数が多い年に対応していない。これに関しては、年の初めにおける貯水量の大小、流量の季節ごとの配分など他にもさまざまな影響が考えられるが、現在のように1/10確率渇水年を貯水池計画の基準とするような方法では実際の渇水被害の様子を表すには不十分であることを示唆している。

次に、水使用の状況について説明する。平成4年における全国の水使用実績（取水量ベース。以下同じ。）は、合計で914億（トン／年）で、生活用水が約19%、工業用水が約14%、残りが農業用水となっている。図2-2に用途ごとに全国、関東地方の使用水量（取水量ベース）の経年変化を示す。

生活用水はこの図には示していないが、1970年代から比較すると伸び率は低くなっているものの、全国、関東地方とも一貫して増加している。一方、工業用水は1970年代に回収率の向上にともなって使用水量は減少していたが、全国、関東地方とも近年は横ばいか微増している。農業用水については、関東地方では都市化の拡大による水田等の減少により減少しているものの、全国的にみると近年は横ばい傾向を示している。総使用水量では全国的にみると生活用水の増加により微増の傾向を示しており、一方、関東地方では生活用水の増加を農業用水の減少分である程度相殺している。

このように生活用水には増加傾向が見られるが、水資源開発には長期間を要することから水源の手当が追いつかず、河川に水が十分にあるときだけ取水されている場合がある。これは不安定取水と呼ばれるが、平成7年現在、全国で約25億（トン／年）、関東地方はそのうち約21億（トン／年）存在する。特に関東地方では不安定取水は都市用水（＝生活用水＋工業用水）の20%以上になっており、渇水時の被害を大きくする原因となっている。

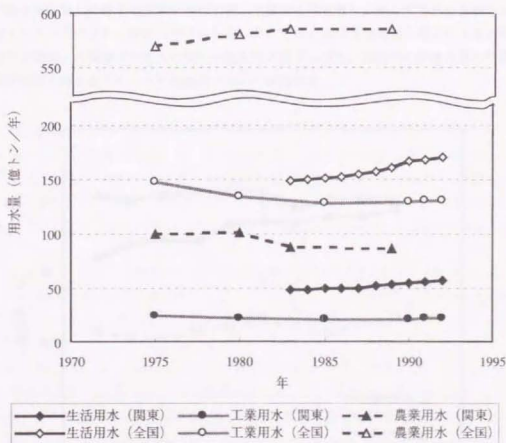


図2-2 用途別使用水量の経年変化（日本の水資源¹⁾より抜粋）

2. 1. 2 河川水質の現状

日本の公共水域の環境基準は、人の健康に係る項目、生活環境の保全に関する項目、監視項目に分かれている。このうち生活環境の保全に関する項目では、河川、湖沼、海域について有機汚濁やDOなどについて基準が定められている。このうち有機汚濁指標（BOD又はCOD）の基準の達成状況の経年変化を図2-3に示す。河川の達成率は着実に上昇傾向にあるが、湖沼の達成率は40%台という低い状態で推移している。湖沼ではTN、TPの達成率も33.3%（1992年度）と低い状態にあり、閉鎖性水域での水質改善が急務となっている。

河川の有機汚濁などによる水質被害としては、上水道では原水の水質悪化による処理コストの上昇やトリハロメタンなどの副産物への影響、異臭味被害などがあり、工業や農業などにもさまざまな被害が考えられる。利根川水系でも下流部で上水取水が行われていることから異臭味被害などが発生しており、また支流の江戸川から閉鎖性の高い東京湾に水が排出されるため、上流部での負荷削減対策が望まれている。

2. 2 既存の研究

実際に流域においてある施策を行う場合、その施策による効果や影響をその施策のコストと比較できるように経済的に評価する必要がある。経済的な評価の手続きは、まず流域管理施策の導入によって水循環や汚濁物質の動きが変化した様子を流量や水使用量、水質などで表現し、そしてそれを金銭などの経済的な指標に変換するという2つの段階に分けられる。ここでは、流域管理施策の導入による水循環の変化の定量化に関する研究、汚濁物質の動きの変化の定量化に関する研究、経済的な指標の算出に関する研究にわけて、既存の研究例をまとめ、その問題点について検討する。

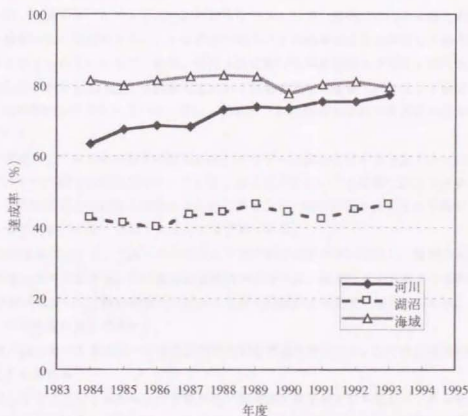


図2-3 環境基準（BOD又はCOD）達成率の推移（環境白書³）より抜粋

2. 2. 1 流域管理施策の導入による水循環の変化の定量化に関する研究

流域状況の変化による水循環の変化を定量化するためには、まず水循環の仕組みや状況を明らかにし、それを定式化する必要がある。このような研究は流出現象に関するものや蒸発散に関するものなど例を挙げればきりがなく数多く行われている。しかし、さまざまな流域管理施策の評価を行う場合には、水循環の個々の現象だけを取り扱うのではなく全体を視野に入れて考えなければならず、そのように全体を視野に入れて行われている研究に絞るとその数は少ないというのが現状である。これは個々の現象においてもまだ未解明部分が多いことや、広い範囲を取り扱おうとするとその分定式化を行ううえでパラメーター等が多くなり、モデルが煩雑になってしまうためである。

また、水循環についてシミュレーションを行う場合には、定量化する目的によってモデルを構成してシミュレーションを行ううえでの時間や空間のスケールが異なってくる。例えば、低水管理施策の効果の定量化の場合は日単位から年単位と長い時間スケールが用いられるが、洪水管理施策の場合は分単位から時間単位と短い時間スケールが用いられる。また、ダム建設のように大河川における効果の定量化では対象流域を広くとるために空間スケールを比較的広くしてシミュレーションが行われるが、都市における雨水浸透など中小の都市河川における効果の定量化などでは対象流域が狭いのでそれにともない空間スケールも狭くなる傾向にある。

比較的狭い空間スケールで水循環を取り扱うケースとして都市における水循環を取り上げたが、これについては都市型洪水や都市河川の枯渇等の問題から数多く議論がなされている。虫明⁴⁾はこれらを整理し、東京23区において年間の水収支を定量化している。また、松本⁵⁾はこのような都市における水循環システムの枠組みを多摩川流域に適用して、河川水循環利用、雨水浸透システム、中水道といった都市内における低水管理施策について水質も含めた評価を行っているが、これらの施策が水循環に与える影響を評価している例は少ないと言える。

同じように狭い空間スケールで水循環を取り扱うケースとして、農地における水収支がある。日本の河川においては農業用水の影響が大きく、近年農地の減少により農業用水を合理化して都市用水へ転用するといった施策も考えられているので、農業、特に水田における利水構造や水収支、河川流量に与える影響を把握しておく必要がある。丹治⁶⁾は利根川において農業の利水構造をモデル化して農業水利構造が基準点流量に与える影響の分析を行っている。また、岡本ら⁷⁾は水田用水の取水原単位や排水先など特性について考察している。

一方、広い空間スケールでその効果の評価が行われるダム建設などはかなり古くから行われている対策でもあるので、その評価方法は定式化されている。ある水系において水需要に応じて水資源開発が必要になった場合、その取水量を安定的に確保するために必要なダム新設計画を決定する手順で、現在一般的に用いられている手法を、中澤²⁾は以下のようにまとめている。

- (1) 最初に当該水系において、上流のダム地点と下流の取水地点の間に位置し、長期の流量観測資料の得られる基準地点を設定する。この場合流量観測がなければ、降雨などの資料から推計してもよい。
- (2) 当該基準地点において、統計期間中に起きた上流での取排水の影響を補正し、半旬ごとの平均流量を計算し、半旬流量年表を作成する。
- (3) 基準地点下流における水需要の半旬単位の期間別必要量を作成する。この場合河川の維持用水量があればこれも含める。
- (4) 表2-5に示すように、基準地点の半旬流量と期間別必要水量とを対比して、ダム地点と基準地点の間の残流域からの流出も考慮しつつ、半旬ごとにダム地点における補給必要量の計算を行い、ダム地

点に余剰流量があれば貯水池に貯留し、不足して補給を必要とする場合は貯水池から放流することによって統計期間中の貯水容量増減を計算する。

- (5) 以上の計算の結果得られる貯水容量のうち最大の容量が必要とするダム貯水量であって、通常この統計期間の10年間における各渇水ごとの必要貯水容量のうち最大の必要貯水容量をダムの計画対象貯水容量とする。

このようにして、ある取水量に対して必要な貯水容量が決定されるわけである。これを逆に考えると新設のダムの貯水容量を決定すると下流部における取水可能量が逆算でき、これにより水資源計画でよく使われている新規開発水量を求めることができる。

日本では、この決定プロセスで用いられる流量値には最近10年間のものが用いられている。これは再現期間10年の渇水に対しては、貯水池からの補給により必要取水量を満足させようという計画基準に基づくもので、この再現期間の取り方は国によって異なっている。

新沢・岡本¹⁾による渇水時の流量データを用いた水収支計算による利根川上流ダム群の運用方法の検討など、このような過去の代表的な渇水時のデータを用いて流域管理計画、特にダム計画やダムの運用方法の最適化について検討した例は多い。しかし、図2-1に示したように流量が少ない場合でも渇水被害はそれほど大きくない場合もあることから、流量や降水量などの水文事象は不確定性（各季節において確定値をとらずにある種の分布で表される）を持っているので、このような過去のある特定の渇水時のみを考慮した評価手法では、例えばある施策による渇水被害の減少量の期待値などは算出されないものと考えられる。

表2-5 貯水池容量の計算手順例

期間			取水量 [A] (m ³ /s)	基準地点 流量[B] (m ³ /s)	ダム地点 流量[C] (m ³ /s)	残流域 流量[D] (m ³ /s)	ダム地点 要確保量[E] (m ³ /s)	ダム地点 不足流量[F] (m ³ /s)	補給必要 容量[G] (m ³)	補給必要 容量累計[H] (m ³)
年	月	半旬								
	1	1	2.0	2.5	0.8	1.7	0.3	-0.5	溢水	—
		2	2.0	2.2	0.7	1.5	0.5	-0.2	溢水	—
		3	2.0	2.0	0.6	1.4	0.6	0.0	—	—
		4	2.0	1.9	0.6	1.3	0.7	0.1	43	43
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		6								1560
	5	1	2.5	3.8	1.2	2.6	—	-1.2	-518	1042
		2	2.5	3.3	1.1	2.2	0.3	-0.8	-346	696
		3	2.5	2.9	1.0	1.9	0.6	-0.4	-173	523
		4	2.5	2.6	0.8	1.8	0.7	-0.1	-43	480
		5	2.5	2.3	0.7	1.6	0.9	0.2	86	566
		6	2.5	2.0	0.6	1.4	1.1	0.5	259	825
	6	1	5.0	1.8	0.5	1.3	3.7	3.2	1382	2207
		2	5.0	1.6	0.4	1.2	3.8	3.4	1469	3676
		3	5.0	16.0	5.5	10.5	—	-5.5	-2376	1300
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

※1 水資源の科学²⁾より抜粋。

2 D=B-C, E=A-D, F=E-C, G=F×86400×5。

3 2月の最後の半旬は3日。1, 3, 5, 7, 8, 10, 12月は6日。

4 ダム地点要確保量はA>Dの場合のみ記載する。

5 FとGのマイナスは貯留可能性余剰を示す。

6 累計最大値が必要ダム容量である。

7 貯水池は1月初めのスタート時に満水とする。

水文事象の不確定性を考慮した評価手法の枠組みとしては池淵・小尻ら^{9) 10)}が流量の生起確率分布をベクトル、各施設による操作をマトリクスで表してシミュレーションを行う方法を提案している。そしてこれを淀川水系に適用して、得られた流量、水質の確率分布を用いて利水安全度の評価を行っている。この手法は水文事象の不確定性を十分に考慮に入れることができるが、取り扱うパラメーターが膨大になってしまい、広い流域に適用するのは困難である。これより簡単な手法として、例えば高梓ら¹¹⁾は1万年分の降水量系列を入力値として、1978年に甚大な洪水被害を受けた福岡市域においてシミュレーションを行い、洪水対策ダムの導入による安全性の向上について検討をしている。しかし、いずれにしても水文事象の不確定性を考慮に入れるとシミュレーションモデルが煩雑になってしまうこともあり、その研究例はまだ少ないと言える。

2. 2. 2 流域管理施策による汚濁物質の動きの変化の定量化に関する研究

流域管理施策による水質改善の効果を評価する方法としては、まず排出汚濁負荷量を算出し、それから河川流下時における水質変化や流域内での流達率を考慮して対象水域の水質を算出するというモデルを用いてシミュレーションを行うのが一般的である。よって、既存の研究は各施設や地域からの排出汚濁負荷量に関するものと流域内や河川での移動中の水質変化に関するもの、そしてこれらを組み合わせて実際の施策の評価を行うものとに大別される。

排出汚濁負荷量に関する原単位や流域内や河川での水質変化については流域別下水道整備総合計画調査指針と解説¹²⁾に過去の研究例などがまとめられている。これによると、排出汚濁負荷の原単位などのパラメーターについてはまだ地域やサンプリングの誤差等によりばらつきが非常に大きく、実際の施策を評価するうえで地域性などを詳細に考慮するのは困難である。また、水質変化等のモデルについても中小河川を対象としている場合は細井ら¹³⁾が鳥取市内の旧袋川で行ったように複雑なモデルを用いることも可能であるが、流域の規模が大きくなると複雑なモデルではパラメーターが多くなりすぎて各パラメーターを設定や検証が困難になる。日本生命財団による助成研究の研究グループ(代表:高橋裕)¹⁴⁾では、利根川水系における水環境の将来予測を原単位法により発生汚濁負荷量の推定し、Streeter and Phelpsのモデルを基本にした河川水質モデルを用いて、下水道などの施策の効果を評価している。

しかし、水質を考慮するときに水量も同時に考えているものにも関わらず、これらが同じ枠組みで評価されている研究は少ない。流域下水道や下水処理水の再利用など水量・水質ともに影響を与える施策の効果を考えるうえではこれらの効果を同じ枠組みの中で考慮するのが望ましいものと考えられる。

2. 2. 3 経済的な指標の算出に関する研究

前にも述べたが流域管理施策による効果や影響をその施策のコストと比較できるように経済的に評価する必要がある。竹林^{15) 16)}は、日本における河川経済調査方法の現状をまとめて総合河川経済調査体系を提案している。また、この体系への非市場財評価手法の適用性を検討している。以下に提案している体系について概要を示す。

(1) 総合河川経済調査体系

この評価体系では、図2-4に示すように河川管理システムの機能を治水、利水、エネルギー、親水、その他と分類して、それぞれについて経済評価のフレームを作っている。

治水事業については、治水経済調査要綱というものが体系化され、実用に供されている。この調査では、5～6個の調査対象流量のそれぞれに対応した想定被害額を算出し、その値に当該流量の生起確率をかけ、流量に関して積分することにより想定年平均被害期待額を求める。想定被害額の算定に含まれる項目は、一般資産、営業停止、公共土木施設等、農作物である。

利水事業で、上水、工業用水、農業用水といった新規水利用の経済評価の手法については、代替水源の確保の方法、水1トン当たりの値段、また農業の穀物生産増加額とか、増収額といった種々の形で経済評価されている。これらは、多目的ダム建設事業においてコストアロケーションの妥当投資額の算定のためにどうしても価値評価をしなければならないということで体系化がなされてきた。

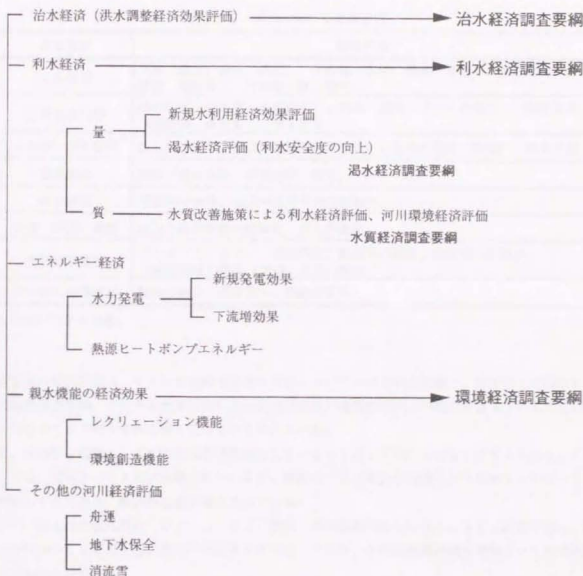


図2-4 総合河川経済調査体系 (竹林¹⁶⁾より抜粋)

以上の項目に加え、多目的ダムなどで、利水安全度をさらに高める、つまり、10分の1の安全度から20分の1、戦後最大、さらに既往最大の渇水に対応するといったいろいろなレベルの利水安全度を確保していくための投資に対する経済効果をいかに評価するかということも、利水事業の評価の非常に重要な課題であり、渇水被害の経済評価手法がまとめられた。この中では、渇水被害防止を目的とした物品等の購入費用や労働投入費用から、給水制限率の関数としての被害額関数を世帯及び各種業種に対して求め、それを対象地域内の各世帯・事業所に適用して被害額を算定しており、この方法は実務的に用いられるようになっている。実際の被害額関数については、今村ら¹⁷⁾、中澤・今村ら¹⁸⁾、山内¹⁹⁾などで研究が行われている。

一方、河川を持つ水質が改善されることの経済評価をどのように行うかという課題がある。河川における水質被害としては表2-6に示したようにさまざまなものが考えられ、水質改善することによって、多方面に効果が現れる。このうち、上水や工業用水の水質浄化経費の削減等の観点からの便益及び漁業資源への影響の観点からの便益の評価方法がまとめられているが、まだ実務的に用いられるまでには普及していない。

表2-6 河川における水質被害

被害項目	被害内容
上水被害	疾病（急性、慢性、遺伝）、不快感（異味、異臭、着色）、処理費用（施設費、運営費）、代替費（断・減水）
工業用水被害	商品価値（原料水、処理用水）、施設（腐食、スケール発生）、処理費用（施設費、運営費）、営業停止
かんがい用水被害	商品価値低下、減収、施設の耐久性低下、害虫の発生（消毒）、成長不良
発電被害	施設（取水施設、発電施設、清渇）
水産被害	漁獲量の減少、施設の耐用年数の短縮化
交通（舟運）被害	施設の耐用年数の短縮化、収入の減少
生活環境被害	（レクリエーション・空間利用）利用客の減少、施設収入の減少 （居住環境）異臭、地価・家賃の減少
その他の環境被害	動物の減少、異常発生、景観の悪化

※ 竹林¹⁵⁾より抜粋。

利水事業の経済評価は、マクロな意味で普通の利水についての経済調査要綱と、計画以上の渇水における渇水経済調査要綱、それから水質改善による利水経済及び環境機能向上の経済評価をする水質経済調査要綱、合わせて3つのものから成り立つものと考えている。

また、水の持つ価値として水力発電及び熱源としてのヒートポンプ的なものなどが考えられる。これらについては、電気というものに換算されているが、通産省で長年電気の価値をどう評価するかという方法論を検討してきており、経済評価法が確立されている。

さらに、貯水池の親水機能、レクリエーション機能、環境創造機能というものをどう経済評価し、体系化するかにについてはまだ十分に調査手法はまとまっていないが、今後環境経済調査要綱という形で体系化されるものと思われる。

(2) その他の評価手法に関する研究

流域管理施策について経済的な評価を行っている既存の研究のほとんどは、総合河川経済評価体系で考えられている枠組みの中で評価を行っている。この評価体系の枠組みと違う評価としては、武智ら²⁰⁾は香川用水を対象として、これまでの利水経済調査による安全度向上による効果(負の便益)に加え、水利用の増進による水利利用者の便益(正の便益)及び公共事業主体等の税収増を把握する方法について検討している。

また、松本ら⁵¹⁾は多摩川流域を対象として、河川水循環利用、雨水浸透システム、中水道といった都市内における水量管理施策について、近年の地球環境問題もふまえて二酸化炭素排出量やエネルギー消費量をもちいて評価を行っている。

2. 3 本研究の目的

2. 1で述べたように、日本は他国と比較して一人当たり水資源賦存量が少なく、また河川の形状からそのうち利用できる水量も限られているが、水需要量は生活用水の増加により増加傾向にあり、渇水の起こる頻度が高くなっている。一方、水資源開発の中心的存在として進められてきたダム建設も近年はダム適地の減少、建設費用の高騰、河川の利用率の上昇による投資効率の低下、環境への悪影響などにより、見直しがせまられていることが多い。水質では、河川においてはBODなどの有機物汚濁では状況は改善されつつあるが、ダム、湖沼、海域などの閉鎖性水域では水質は改善されておらず、富栄養化の問題への対応がせまられている。特に首都圏の重要な水源である利根川水系では、近年も3年に1回程度の頻度で取水制限が行われており、また下流部において上水道の取水が行われることから、水量面、水質面ともに積極的に流域管理を行っていく必要がある。

2. 2では、流域管理施策の効果の評価について、一般的に使用されている方法と既存の研究をまとめたが、その問題点を以下に示す。

- (A) 水循環を取り扱うさいに、個々の現象だけを取り扱うのではなく全体を視野に入れた研究が少ないこと。
- (B) 都市における低水管理施策についてその水循環に与える影響を考慮して効果の定量化を試みた研究が少なく、さらにそれをダム建設などの他の大規模な管理施策の効果と比較した研究が少ないこと。
- (C) 流量や降水量などの水文事象の不確定性を考慮して流域管理施策の効果の定量化を試みた研究が少ないこと。
- (D) 流域管理施策が水量と水質に与える影響を同じ枠組みの中で評価している研究が少ないこと。

本論文では、流域における低水及び水質管理施策のもつ効果や流域状況の変化が与える影響を定量化するモデルを構築することを第一の目的とする。このモデルは既存の研究の問題点をふまえ、以下のような特徴を持つものである。

- (a) さまざまな流域管理施策の評価をするために水循環については、自然発生流量の時点から生活系、製造業系、農業系の水利利用についてそれぞれ水収支を考えるとともに、上水道、下水道についても考慮にいれている。詳しくは3. 2で説明する。

- (b) 水文事象の不確定性を考慮するために、その各期における自然発生流量の期待値の分布が対数正規分布に従うと仮定して1年分の発生流量を1000系列作成し、この1000系列を用いて流域内における水収支の計算を1000回繰り返すことにより、ある期間における河川流量や河川水質を確率分布の形で得るようにしている。詳しくは3.3で説明する。
- (c) 水量と水質について同じ枠組みでシミュレーションを行い、流域管理施策の効果について、水量・水質の両面から検討できるようにしている。
- (d) さまざまな流域への適用が容易に行えるように、比較的手がかりが容易なデータを用いてパラメーターを設定するようにしている。

そして、このモデルを水量・水質両面で積極的に流域管理を行っていく必要があると考えられる利根川水系上中流域に適用して以下の項目について検討する。

- (e) このモデルの精度：現在の状況を表したパラメーター群などの設定を標準設定として定めて、実測値と比較することによりモデルの再現性について検討する。
- (f) パラメーター等の精度の影響：モデルで用いられるパラメーターの精度がシミュレーション結果に与える影響について検討する。
- (g) 利根川水系におけるさまざまな流域管理施策が与える効果の定量化：個々の流域管理施策についてその効果を定量化し、相互に比較する。
- (h) 流域の将来状況の予測：パラメーターの2000年の状況を予測し、それを用いてシミュレーションを行って、2000年の流域の状況を予測する。
- (i) 流域管理計画による流域状況の予測：2000年において、さまざまな流域管理計画に基づいて施策を行うことにより流域の状況がどのように変化するかを予測する。

第2章の参考文献、参考資料

- 1) 国土庁長官官房水資源部編：日本の水資源、平成7年版、1995
- 2) 中澤式仁：水資源の科学、朝倉出版、1991
- 3) 環境庁編：環境白書、平成7年版
- 4) 虫明功臣：都市の水循環システム-都市水文学のフレームワーク-、水文・水資源学会誌、Vol.2、No.1、pp.23-32、1989
- 5) 松本重行：都市の水循環システムの複数指標による評価、東京大学修士論文、1994
- 6) 丹治肇：水利システム解析による利根川の農業水利構造の分析、水文・水資源学会誌、Vol.3、No.1、pp.24-35、1990
- 7) 岡本雅美・佐藤政良：日本における水田用水の水文・水資源学的特性、水文・水資源学会誌、Vol.3、No.1、pp.1-6、1990
- 8) 新沢嘉芽純・岡本雅美：利根川の水利用（増補版）、岩波書店、1988
- 9) 池淵周一・小尻利治・武村彰文：確率マトリックス演算による利水システムの安全度評価に関する研究、京都大学防災研究所年報、No.30 B-2、pp.359-375、1987
- 10) 池淵周一・白村暁：利水システムの安全度評価とその淀川水系への適用に関する研究、京都大学防災研究所年報、No.32 B-2、pp.383-400、1989

- 11) 高埴琢馬・宝馨・丸川幸治：洪水対策ダムの導入が利水安全度に及ぼす効果に関する基礎的研究、水文・水資源学会 1989 年研究発表会要旨集、pp.75-78、1989
- 12) 建設省都市局下水道部：流域別下水道整備総合計画調査・指針と解説、日本下水道協会編、1993
- 13) 細井由彦・城戸由能・帽田泰孝・柳楽弘行・吉田仁：都市内中小河川の水質汚濁解析と改善策の評価、土木学会第 50 回年次学術講演会、pp.995-996、1995
- 14) 高橋裕編：首都圏の水—その将来を考える—、東京大学出版会、1993
- 15) 竹林征三：日本における水管理施策の評価と計画策定・実施に至る過程、Integrated Water Management Seminar 論文集、1993
- 16) 竹林征三：河川経済調査手法の体系化の現状と今後の課題、水文・水資源学会誌、Vol.8、No.1、pp.19-37、1995
- 17) 今村瑞穂・関正和・中村昭：洪水の構造分析と流水管理への適用、土木技術資料、Vol.21、No.9、pp.16-25、1979
- 18) 中澤式仁・今村瑞穂・石崎勝義・中村昭：洪水時の水管理に関する計画的な研究：土木研究所資料 1508 号、1979
- 19) 山内彪：洪水被害の定量的評価手法について、ダム技術、No.44、pp.5-13、1990
- 20) 武智幹雄・夕部真一：利水事業の効果分析に関する一考察、第 4 回水資源に関するシンポジウム前刷集、pp.117-122、1992

第3章 対象流域の概要とシミュレーションモデルの構造

本章では、対象流域の概要と本論文で構築したシミュレーションモデルの構造について説明する。

3. 1 では、シミュレーションモデルを適用した利根川水系上中流域について、ダムや上水道、下水道などの水管理施設の概要や河川流量や水質、水使用量の現況を説明している。

3. 2 では、シミュレーションモデルの大まかな構造と流域内での水や汚濁物質の動きを取り扱い方、用いられているパラメーターについて説明している。

3. 3 では、シミュレーションモデルの水量面での入力値として用いられる自然発生流量系列について、その不確定性を考慮した作成方法とその再現性について検討している。

3. 4 では、得られた流域の状況から流域管理施策等の効果を評価する指標について説明している。

3. 5 では、本章で得られた知見をまとめている。

3. 1 利根川水系の概要

本論文では、構築したモデルを日本屈指の大河川で、首都圏の都市用水ならびに関東平野における農業用水の水源として重要な利根川水系に適用している。ここでは、その状況を示す。

3. 1. 1 地理的状況

利根川は、関東平野を貫流する流域面積 16840km²、全長 322km の日本を代表する河川であり、その流域は群馬・栃木・茨城・埼玉・東京・千葉・長野の 7 都県にまたがっている。

このモデルを適用したのは、図 3-1 に示した河口から約 130km の栗橋地点より上流の流域である。しかし、利根大堰から利根導水路により対象流域外の東京方面へ取水されている水量を考慮してシミュレーションを行っているので、東京方面における水利用についても一部考慮することになっている。流域面積は 8588km²で利根川流域の 1/2 を占め、利根川上流ダム群の概要¹⁾ではこの地域を地形・地質・降雨流出状況等の特性によって、奥利根流域、吾妻川流域、烏・神流川流域、渡良瀬川流域の 4 流域に大別している。各流域の特色を以下に述べる。

- 1) 奥利根流域：利根川本川と楢俣・赤谷・片品などの諸支川からなる面積約 1800km²の流域で、標高 500m 以上の山地が約 90% を占め、冬期降雪量が他流域に比べ著しく多い。本川上流に矢木沢・藤原、赤谷川に相俣、片品川に蘆原の 4 つの貯水池がある。
- 2) 吾妻川流域：吾妻川と万座・四万などの諸支川を含め、渋川市で利根川に合流する面積約 1300km²の流域で、奥利根、烏・神流川流域の中間に位置するため両地域の中間的特色を持っている。北部山岳地帯と榛名山麓が多雨地域といえる。

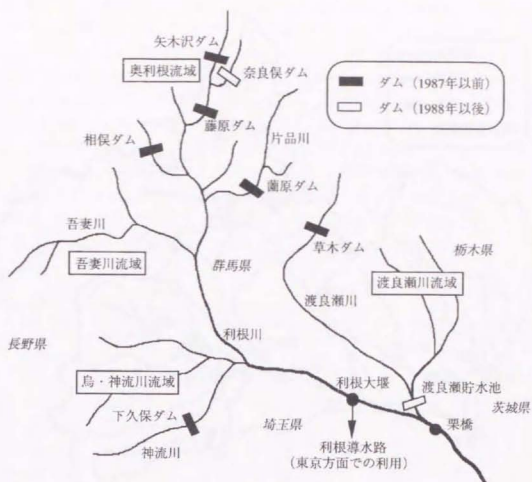


図 3-1 対象流域の概要

- 3) 烏・神流川流域：軽井沢付近が水源の烏川と碓氷・鉢・神流などの諸支川を含めた約 1800km²の流域で平地の占める割合が高い。降雪がほとんど見られないため年間降水量は少ないが、洪水時雨量は最も多くなっている。神流川に下久保ダムがある。
- 4) 渡良瀬川流域：渡良瀬川と桐生・思の諸支川からなり、渡良瀬遊水池をへて栗橋地点で利根川と合流する面積約 2600km²の流域である。降水量は比較的多いが冬期降雪量は少なく洪水時雨量が多い。上流部に草木ダムがある。

ここでは、流量年表²⁾における 17 の流量観測地点と、後に述べる 6 つのダムによって、対象流域全体を図 3-2 のように 23 の小流域に分割し、シミュレーションモデルの構成要素とする。各流量観測地点の河口からの距離と流域面積を表 3-1 に示す。対象流域の最下流地点は栗橋地点で、流域内のダム群では実際にこの地点の基準流量を満たすように放流操作が行われている。

3. 1. 2 水管理施設概要

ここでは、対象流域内の水管理施設として、ダム、上水道、下水処理場について説明する。

対象流域内には、前節で述べた矢木沢、藤原、相模、藺原、下久保、草木の他に、渡良瀬川下流の渡良瀬貯水池、奥利根流域の榑俣川の奈良俣ダムの 2 つも 1992 年現在完成している。また、片品川水系の戸倉ダム、吾妻川の八ッ場ダムなども工事中である。本研究においては、このうち 1989 年の時点で運用されていた初めに挙げた 6 つのダムを用いてシミュレーションを行っている。各ダムの概要を表 3-2 に示す。

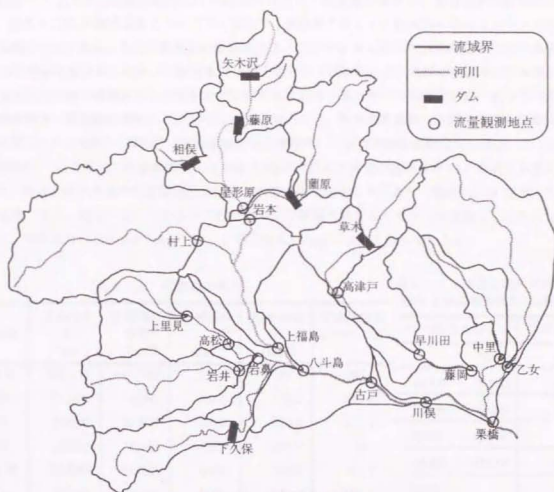


図3-2 対象流域の分割

表3-1 流量観測地点の概要

観測地点名	屋形原	岩本	村上	上福島	上里見	高松	岩井	岩鼻	八斗島
河口からの距離 (km)	236.5	233.1	10.5*	190.8	31.0*	17.3*	5.4*	8.2*	181.0
流域面積 (km ²)	980.9	1691.9	1239.0	3661.0	156.6	536.3	55.2	1220.8	5150.0
河川名	利根川	利根川	吾妻川	利根川	烏川	烏川	鍋川	烏川	利根川
観測地点名	古戸	川俣	高津戸	早川田	藤岡	中里	乙女	栗橋	
河口からの距離 (km)	164.5	150.9	52.2*	28.6*	12.9*	4.1*	13.1*	130.6	
流域面積 (km ²)	5986.0	6018.0	472.0	748.4	1290.5	205.4	760.0	8588.0	
河川名	利根川	利根川	渡良瀬川	渡良瀬川	渡良瀬川	巴波川	思川	利根川	

※1 *が付いているものは合流点からの距離

2 流量年表²⁾より

水道統計⁴⁾によると、対象流域内には1989年の時点で上水道事業者が86、水道用水供給事業が2つ存在する。給水人口は86事業者を合わせて351万人で、普及率で考えると約88%になっており、日本では最も低い地域の一つである。また、事業者の規模は表3-3より2万人以下の小規模なものが49あり、事業者数86の半分以上を占めている。実績取水量は約7億トン(1989年)で、水源は表流水が約40%、地下水が約48%で残りは他の事業者からの受水などで補われており、地下水への依存度が高くなっている。水道用水供給事業は、群馬県県央第一と埼玉県広域第二の二つで、群馬県県央第一は前橋市等6市町村に、埼玉県広域第二は熊谷市等30市町村(対象流域内は6市町村)に水道用水を供給している。

下水道統計⁵⁾によると、対象流域内には1989年時点で公共下水道の処理場が22、流域下水道の処理場が3ヶ所、特定公共下水道や特定環境保全公共下水道の処理場が6ヶ所あり、処理人口は72万人で普及率は20%程度である。図3-2にBODとCODについて処理水質を示したが、処理場ごとにかなりばらつきがある。平均はBODは6.9(mg/l)、CODは9.5(mg/l)となっている。

表3-2 貯水池の概要

ダム名	利水容量 A (千m ³)	夏期利水 容量 (千m ³)	流域面積 (km ²)	集水面積 B (km ²)	充填降雨高 C=A/B (mm)
矢木沢	115,500	115,500	167.4	167.4	690.0
藤原	31,010	14,690	401.0	138.2	224.3
相俣	20,000	10,600	110.8	110.8	180.5
藪原	13,220	3,000	493.9	493.9	26.8
下久保	120,000	85,000	322.9	322.9	371.7
草木	50,500	30,500	254.0	254.0	198.8
6ダム計	350,230	259,290	1,582.6	1,582.6	221.3
奈良俣	85,000	72,000	95.4	95.4	891.0
渡良瀬	26,400	12,200	2,620.0	2,366.0	11.2
8ダム計	461,630	343,490	3,498.6	3,498.6	116.9

表3-3 対象流域内の給水人口別の上水道事業者数(1989年)

給水人口	事業者数
～ 10000	17
10000 ～ 20000	32
20000 ～ 30000	10
30000 ～ 50000	6
50000 ～ 100000	12
100000 ～	9

※ 利根川上流ダム群の概要¹⁾より作成

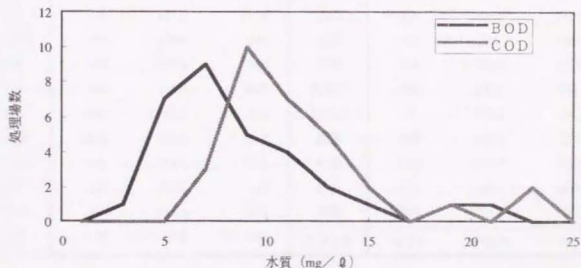


図3-3 各処理場の処理水質の分布

3. 1. 3 河川流量の現況

流量年表²⁾と水資源開発施設等管理年報⁵⁾から、1978～87年の各年の栗橋地点流量と利根導水量(利根大堰から対象流域外への取水量)を示す。栗橋地点流量と利根導水量の和は、対象流域におけるおおよその発生流量を表しているものと考えられる。和の平均値は約84億トンで、そのうち22%が利根大堰から対象流域外へ導水されている。深刻な渇水となった1987年では、約28%の水が対象流域外へと流域変更されていることになり、この導水量は利根川本川の流況に非常に大きな影響を与えている。また、合計値は最小が65億トン、最大が111億トンとなっており、年によりかなりのばらつきがあることがわかる。

表3-4 栗橋地点流量と利根導水量の年間流量の実測値(単位は億トン/年)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	平均
栗橋流量	42.7	59.5	65.6	80.4	93.1	86.1	45.2	72.4	61.8	47.0	65.4
利根導水量	18.2	17.8	17.9	19.1	17.6	18.1	19.9	17.3	18.5	18.0	18.2
合計	60.9	77.3	83.5	99.5	110.7	104.2	65.1	89.6	80.2	65.0	83.6

次に、流量年表²⁾、水資源開発施設等管理年報⁵⁾、多目的ダム管理年報⁶⁾から、1978～87年の日単位の流量、ダム流入量、ダム放流量、取水量のデータを用いて、図3-2で示した各小流域における発生流量を算出し、その年平均値と集水面積、流出高を表3-5に示す。流域によって流出高にかなりばらつきが見られるが、これは人為的な流域変更などの影響であると考えられる。八斗島流域では既存のデータを用いて流域面積を算出すると負になってしまうが、これは下久保から流下してくる水量のうちある程度が分岐して八斗島地点をバイパスしているために、その分に相当する流域面積が下流の古戸地点に加えられているのではないかと考えられる。

表3-5 各小流域の年間発生流量の平均値、流域面積、流出高

流域名	年発生流量 (百万トン)	流域面積 (km ²)	流出高 (mm)	流域名	年発生流量 (百万トン)	流域面積 (km ²)	流出高 (mm)
矢木沢	500	167.4	2986	下久保	201	322.9	623
藤原	252	233.6	1077	八斗島	-153	-21.9	-----
相保	170	111.0	1534	古戸	950	836.0	1137
屋形原	369	496.0	744	川俣	45	32.0	1391
蘭原	365	494.0	738	草木	344	254.0	1355
岩本	969	168.0	5765	高津戸	207	218.0	951
村上	580	1,245.0	466	早川田	7	276.4	24
上福島	1,000	746.0	1341	藤岡	463	542.1	855
上里見	231	157.0	1476	中里	210	205.4	1020
高松	133	380.0	350	乙女	872	760.0	1147
岩井	340	555.0	613	栗橋	355	314.1	1131
岩鼻	45	97.0	462	全流域計	8454	8588.0	984

3. 1. 4 河川水質の現況

河川水質年鑑⁷⁾における群馬大橋地点(板東合口堰)、栗橋地点、高松地点、波良瀬大橋地点(早川田地点)の4地点のBODの75%値を用いて、図3-4にその経年変化を示す。75%値を取り上げた理由は環境基準を満たしているかどうか判断するときにこの値が用いられるからである。本研究における対象流域の最下流にあたる栗橋地点ではBODは減少傾向にあり、最近では1(mg/l)強で環境基準A類型(2mg/l)を満足している。本川上流部の板東合口堰でも1(mg/l)程度で環境基準A類型を十分満足している。一方、支川の烏川の高松地点や波良瀬川の早川田地点のBOD 75%値は3~4(mg/l)で、環境基準値B類型(3mg/l)を満たさない年が多く、支川での水質改善が望まれる。



図3-4 各地点のBOD75%値の経年変化

3. 1. 5 水使用の現況

日本の水資源⁸⁾をもとに対象流域における水使用状況について以下に示す。ただし、利根川水系だけの水使用状況についてはデータが得られなかったので、関東内陸部(茨城・栃木・群馬・山梨)と関東臨海部(埼玉・千葉・東京・神奈川)に分けて見ていくことにする。

関東地方の水使用量(1988年)は、取水量ベースで164億(トン/年)で全国の18%を占めている。しかし、用途は他地域と大きく違い、生活用水が32%、工業用水が15%、農業用水が54%となっている。

関東地方は2章で示したように人口一人当たりの水資源賦存量が少なく、都市用水の水源は、内陸部では地下水と河川水の割合がほぼ同じくらい、臨海部では河川水が80%近くを占めている。そして、この河川水の供給のうち約6割を水資源施設に依存する一方で約26%を不安定取水に依存している。一方、内陸部では地下水の汲み上げによる地盤沈下が問題となっており、地下水のこれ以上の取水は望めない状態である。

図3-5に内陸部と臨海部に分けて、用途ごとの使用水量の経年変化を示す。ここで、生活用水は取水量ベース、工業用水は淡水補給量である。これによると、本研究の対象地域が主に含まれる内陸部においては、農業用水使用量は減少しているものの、都市用水(=生活用水+工業用水)は微増している。一方、

臨海部では工業用水が減少しているが減少率は小さくなっており、農業用水は横ばい、生活用水は増加となっている。これらから、限られた水資源の中で効率的に水を利用するには、農業用水（特に内陸部）の減少分を都市用水の増加分に用途を変更していくことが重要であると考えられる。

最後に、対象流域内における利根川からの主要な取水と取水権量を図3-6に示す。前にも述べたが、利根大堰からの取水量が他と比べて非常に大きく、与える影響が大きくなっているものと考えられる。

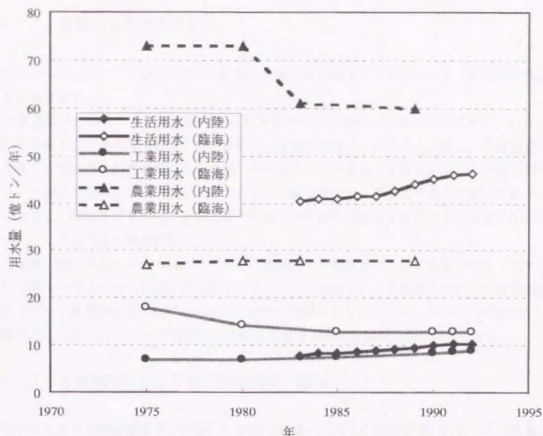


図3-5 関東地方における用途別使用水量の経年変化

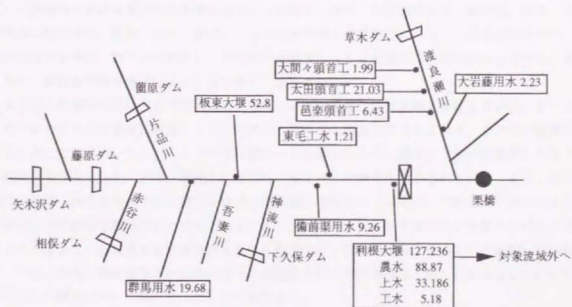


図3-6 対象流域主要取水模式図
(単位はトン/秒、利根川・その治水と利水³⁾より抜粋)

3. 2 シミュレーションモデルの基本構造

構築したモデルでは、まず対象流域に関して水量と汚濁負荷の収支計算を行い、その結果得られた河川流量、ダム貯水量、水使用量、水質などを用いて評価指標を算出するようになっている。以下にその構造を示す。

3. 2. 1 時間と空間の構成単位

水収支のシミュレーションを行うときに時間と空間の構成単位はそのシミュレーションの目的に応じて設定する必要がある。

時間の構成単位については、洪水を対象とする場合は分単位や1時間の単位が用いられることが多いが、利水を対象とした場合は1日や1月、1年という単位が用いられることが多い。本研究では利水を目的とした低水管理施策の効果の定量化を目指しているので、1日以上を単位することが適当だと考えられる。また、本研究で対象とした利根川水系においては最上流部から栗橋地点までの流下時間が1～2日⁹⁾であることから、時間単位を半旬とすると流下時間のずれ等を考慮する必要がなくなる。よって、本研究におけるモデルでは半旬を時間の単位とする。

また、空間の構成単位については、広くすると流域内での地域差がうまく表現できなくなり、逆に狭くすると取り扱うパラメーターが増えてしまう。ここでは、分割された各流域にたいして発生流量を考える必要があるので、流量が測定されている地点で流域を分割することにする。よって、前節で示した17の流量観測地点と6つのダムサイトで分割した23の小流域を基本的な空間の構成単位とする。

3. 2. 2 小流域内における水・汚濁物質の動き

このモデルにおける構成要素は、前述した23の小流域、88の上水道事業者、31の下水処理場、6つのダム、取水堰や流量観測地点、ダムサイトを考慮した29の河川各地点、1つの対象流域外の導水路である。モデルにおいて、これらの構成要素間で水・汚濁物質の動きをどのように取り扱っているかを以下に示す。

まず、小流域内における実際の水循環を図3-7に示す。水は、対象河川本流、地表部、地下、大気といった要素の間を降水、蒸発、流出、浸透といった現象を通して移動している。この水循環の中で、利用者は河川本流や地表部、地下から取水し、使用後に地表部もしくは直接河川本流に排水している。また使用した水の一部は蒸発散や浸透により大気や地下に戻っている。

このような水循環の状況は、定性的には捉えられているが定量的には未解明な部分が多い。シミュレーションモデルでこれらを忠実に再現しようとする、不確かな部分が多くなるうえ、モデルが煩雑になってしまう。そこで、このシミュレーションでは図3-8に示したように図3-7を一部省略した形で流域内の水循環を取り扱うことにする。省略した部分は、図3-7で斜字体で示されている。まず、地下と地表の間での浸透・湧出など地下水に関する自然の水循環が省略されているが、これは前に述べたようにこれらの現象には未解明な部分が多いためである。よって、このモデルでは地下水を無限大のバッファのようなものと考えて、涵養量や取水量が変化しても取水などに影響を及ぼさないものと仮定していることになる。また、地表・利用者などからの大気への蒸発散も河川本流からまとめて行われるようにして計算している。この理由については、3. 3. 3で説明する。

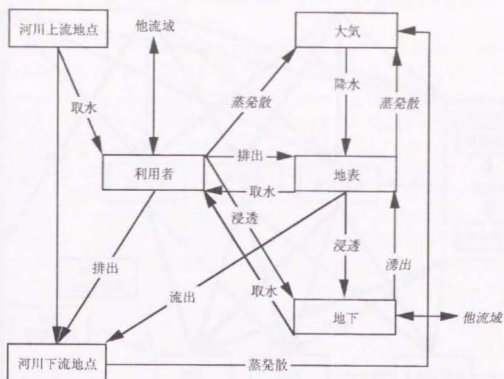


図 3-7 実際の流域内での水循環

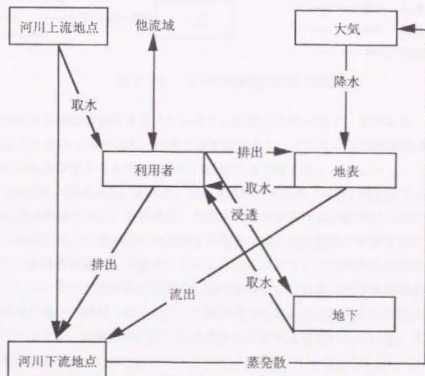


図 3-8 シミュレーションモデルでの水循環

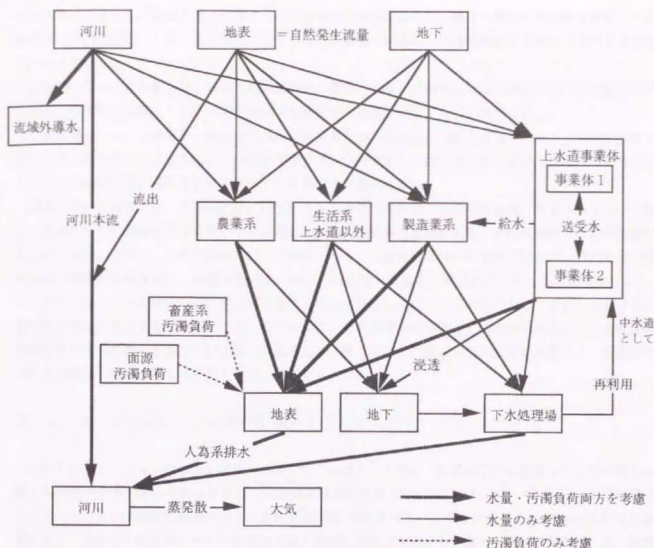


図3-9 水・汚濁物質の動きの模式図

構成要素間の水・汚濁物質の動きをさらに詳しく説明したのが図3-9である。流域内の地表部から取水される水は図3-8によると降水に由来するものであり、これを今後自然発生流量と呼ぶことにする。また、地下水はその貯留量を考えず、地表との収支のみを考える。

利用者は、上水道系、製造業系、農業系、上水道以外の生活系（以下、他生活系）の4つに分けられ、上水道系は各上水道事業体ごとに、製造業系、農業系、他生活系は各小流域ごとに取り扱われる。上水道系と農業系に関する取水は、対象河川、自然発生流量及び地下の3種類の水源から行われる。製造業系に関しては、さらに上水道事業体からも取水できるようにしており、一方他生活系では自然発生流量と地下からの取水のみとしている。上水道系ではさらに他の事業体との送受水や下水処理水の再利用も可能にしており、無効給水量も地下へ浸透したものとして取り扱われる。また河川からの取水では、その流域の直上流の流域からだけでなく（対象流域内の）別水系からの取水も可能にしている。また、取水された水に含まれる汚濁負荷量は考慮していない。

各水利用時に地下へ浸透する水については消失率として利用形態ごとに定義されており、これにより地下へ浸透する水を算出し、残りが排水となる。

上水道系、他生活系の排水に関しては、下水処理場、合併処理浄化槽（コミュニティプラント等も含む）、し尿処理浄化槽（雑排水は放流）、くみ取り（雑排水は放流）の4種類の形態に分けて処理が行われ、下水処理場以外の3種の処理形態では使用人口当たりの負荷量原単位より算出された汚濁負荷とともに地

表部へと排出される。製造業系の排水は、一部は下水処理場に送られ、残りは指定された排水水質により算出された汚濁負荷とともに地表部へ排出される。農業系の排水は、汚濁負荷量を考慮せずそのまま地表部へ排水される。

地表部へ戻ってきた排水は、畜産系の汚濁負荷と農地、山林、市街地といった面源からの汚濁負荷を合わせて、汚濁負荷に関しては流達率を掛けて自浄作用を考慮した後、河川に排出される。

下水処理場では、上水道系、他生活系および製造業系から集められた排水に地下水による水量の割増を行った後、再利用される水を除いては各処理場ごとに指定された処理水質により算出された汚濁負荷とともに河川に排出され、再利用される水は上水道事業体へ送られる。

対象河川の各地点では、上流地点から流下してきた水と汚濁負荷、自然発生流量で取水されなかった部分、地表部からの排水と汚濁負荷、下水処理水とその汚濁負荷を合わせた後、その流域内での蒸発散量が差し引かれる。さらに、その下流部に対して取水、あるいは対象流域外への導水が行われ、残流量と汚濁負荷が下流地点に送られる。汚濁負荷はこの時に、取水量と導水量、残流量に比例してふりわけられる。

この図には示されていないが、ダムが存在する場合は図3-9における河川のところでダムにおける流量の変化を取り扱うようになっている。具体的には、その地点へ河川あるいは流域から入ってくる流量や負荷量をダムへの流入水量ならびに流入負荷量とし、各ダムごとに設定された計画放流量にそって決定された放流量を下流部へ流下するようになっている。

3. 2. 3 シミュレーションの全体像とパラメーター

このシミュレーションでは水文事象の不確定性を考慮するために、水量面での入力値となる自然発生流量として確率分布を用いて算出された1年分の自然発生流量1000系列を用いてシミュレーションを行うこととしている。具体的に説明すると、自然発生流量1000系列をつなぎ合わせて1000年分の自然発生流量として、半旬ごとに各ダムからの計画放流量を決定した後上流から下流へと構成要素ごとに水・汚濁負荷の収支を計算する作業を73000回(1000系列×73半旬)繰り返した後、得られた結果を用いて評価指標を算出している。自然発生流量と評価指標に関しては後節で説明するものとして、ここではシミュレーションで必要となるパラメーターについて説明する。

このシミュレーションを行う前に表3-6に示した多数のパラメーターをあらかじめ設定しておく必要がある。これらのパラメーターは、基本パラメーターとその値により決定される2次設定パラメーターに分けられる。また、どちらのパラメーターも対象流域全体に対して設定するものと各構成要素ごとに設定するものに分けられる。以下にいくつかのパラメーターについて説明を補足する。

まず、農地面積当たり水使用量など農業がからむいくつかのパラメーターについては季節ごとに異なる値を設定している。季節の区分は表3-7に示すように水田における水利用が多い順に4区分されている。

小流域ごとの水需要量や発生汚濁負荷量は、小流域ごとの人口や土地利用、製造業出荷額、家畜飼育頭数と対象流域全体に対して設定されるさまざまな原単位を用いて算出されるようになっている。

排水処理別人口は、上水道系、その他の生活系の水利用について、前述した下水処理場、合併処理浄化槽、し尿処理浄化槽、くみとり、という4形態ごとの人口を下水処理場の場合処理場ごと、その他の3形態については排出先小流域ごとに設定しておくものである。例えば、A市上水道の給水人口が7万人であったとすると、そのうちB下水処理場に3万人、C流域にし尿処理浄化槽を通して排出するのが1万人、D流域に合併処理浄化槽を通して排出されるのが5千人、し尿処理浄化槽を通して排出されるのが1万人、くみとりで雑排水のみ放流するのが1.5万人というように設定している。

表3-6 モデルにおけるパラメーター一覧

基本パラメーター	
対象流域全体に設定	人口当たり水使用量、製造業出荷額当たり水使用量、各期農地面積当たり水使用量（水田、畑地）、生活系消失率、製造業系消失率、各期農業系消失率（水田、畑地）、製造業場内リサイクル率、排水処理別人口当たり排出汚濁負荷量（合併浄化槽、単独浄化槽、直接放流）、製造業系排水水質、家畜別一頭当たり排出汚濁負荷量、各期土地利用別面積当たり排出汚濁負荷量
小流域ごとに設定	人口、土地利用（水田、畑地、市街地、山林）、製造業出荷額、家畜飼育頭数（牛、豚）、排水処理別人口（他生活系）、各月蒸発散量、汚濁負荷流達率、用途別・水源別取水可能量
上水道事業体ごとに設定	排水処理別人口、有効給水率、水使用量調整量、水源別取水可能量、他の事業体との受入水可能量
下水処理場ごとに設定	地下水／汚水比率、処理水質、場外再利用先と再利用量
河川各地点ごとに設定	維持流量、水質基準
ダムごとに設定	利水容量、死水容量、初期水量、初期水質、各期責任放流量
流域外導水路ごとに設定	各期用途別導水量
河川最下流地点に設定	各期用途別基準流量
2次設定パラメーター	
対象流域全体に設定	ダム群目標放流量、各月総貯水量に対する取水制限率
小流域ごとに設定	用途別・水源別計画取水量、製造業系排水の下水処理比率
上水道事業体ごとに設定	水源別計画取水量

各上水道事業体の水需要量は、以下の式により算出される。

$$\text{水需要量} = (\text{人口当たり水使用量} \times \text{給水人口} + \text{製造業の計画取水量} + \text{水使用量調整量}) \div (\text{有効給水率} \div 100) \quad (3.1)$$

ここで、水使用量調整量を上水道事業体ごとに設定するようになっている。これは各事業体における人口当たり水使用量は実測値ではかなりばらついているので、そのばらつきの部分を水使用量調整量として実測値から算出している。上式から考えると、この値は家庭や製造業以外で用いられる水量を表しているものと考えられる。

下水処理場において処理水質を設定するようになっているが、これは各処理場によって処理水質に差があるのでこれを考慮できるようにしているのである。また、地下水／汚水比率を用いて地下水から下水道へ混入してくる水の量も算出している。

ダムごとの責任放流量は、そのダムの放流量の最低ラインを示すもので、ダム貯水量が0にならない場合は必ずこの量以上放流するように設定している。

流域外導水路とダム群放流基準地点の導水量・基準流量は、生活系、製造業系、農業系、維持流量という4用途について設定している。

表3-7 モデルにおける季節区分

区分名	該当月	該当半月	水田の水利用
季節1	6月	第31～36半月	ピーク時
季節2	5月 7、8月	第25～30半月 第37～49半月	やや多い
季節3	4月 9月	第19～24半月 第50～55半月	少ない
季節4	1～3月 10～12月	第1～18半月 第56～73半月	なし

2次設定パラメーターとして対象流域全体に対して目標放流量、取水制限率を設定しているが、この2つはダム群の運用に関するものである。ダム群の運用は実際には統合運用、つまり各ダムで個別に放流量を決定するのではなく、全てのダムの貯水量や栗橋地点の基準流量、その他の条件等を考慮しながら、個別ダムの放流量を決定するような運用が行われている。この決定プロセスのシミュレーションへの導入については後節で詳しく述べるが、目標放流量は最下流地点（栗橋地点）での基準流量や、地下との水収支、対象流域外との水収支を考慮して設定している。また、実際の運用では降水が少なくダム群の総貯水量が減ってくると取水制限を行い、ダムの放流量を減らすようにしている。このモデルでも取水制限を開始する貯水量と取水制限率を総貯水量に対する取水制限率として月ごとに設定している。

小流域ごとや上水道事業者ごとの水源別計画取水量は、これは各小流域や上水道事業者ごとに算出された用途別水需要量に対して、それに見合うように水源別に設定されるもので、上水道系、製造業系、農業系、他生活系の4用途について設定している。なお、これは基本的に取水可能量を上回らないように設定される。ただし、実際のシミュレーションにおいて河川からの取水に関しては、計画取水量分を取水した結果河川残流量が維持流量を下回る場合は、取水量を加減して維持流量を確保するようにしている。また、河川流量や自然発生流量が不足して計画取水量通りの取水が確保できない場合は、他の水源から取水可能する範囲内で追加取水を行うようになっている。

製造業系排水の下水処理率は、製造業系の排水のうち下水処理場に送られる水量を排水量との比で表したもので下水処理場別に設定される。

またこのモデルにおける汚濁物質としては、公共用水域の環境基準に取り上げられている物質のうち、BOD、COD、TN、TPの4種類を対象とする。

3. 3 自然発生流量

3. 2. 3で述べたように、このモデルにおいては水量面での入力値となる自然発生流量としてその分布関数を用いて算出された1年分の自然発生流量1000系列を用いている。本節では、水循環のシミュレーションモデルで用いられている自然発生流量の様々な形式とその特徴、本論文で構築したモデルで用いた自然発生流量の作成方法について説明し、その方法により作成された自然発生流量の実際の事象に対する再現性について検討する。

3. 3. 1 水循環のシミュレーションモデルにおける自然発生流量の形式

(1) 自然発生流量の形式

水循環を取り扱うシミュレーションモデルにおいて降水量や流量が入力値として使われるが、これらの形式としてはさまざまなものが考えられる。2章でも述べたが池淵・小尻¹⁰⁾は流量をベクトルやマトリクスを用いて表してシミュレーションを行う方法を提案し、これを淀川水系に適用して利水安全度を検討している。高村¹²⁾は福岡市域において1万年分の降水量系列を用いてシミュレーションを行い、ダムの導入による安全性の向上について検討している。

ここでは、まず代表的な自然発生流量の形式として以下の3つについてその特徴などを検討する。

- (a) 過去のデータの代表：確率水文量（低水流量）のようにある一つの数値に情報を集約したもの。
- (b) 過去の全データ：過去に得られた全てのデータ。
- (c) 分布関数（行列）：自然発生流量の期待値の分布そのもの。

(2) 各形式の特徴

まず、各形式がどの程度実際の状況、つまり自然発生流量の不確定性を表現しているかを検討する。自然発生流量の不確定性についてはさまざまな確率分布が仮定されうるが、1日や半旬といった時間単位では対数正規分布を用いることが多い。そこで、図3-10に前項(1)に示した3形式がどの程度この分布を表しているかを示す。(a)では1つの値しか用いないので、分布の一点しか表せないことになる。(b)では使用するデータ量に比例して分布を表現できる割合も増えるが、実際には使用できる既存のデータは分布を表現するのに不十分なことが多い。一方、(c)はこの分布をそのまま使うという形式なので分布を100%表現することができる。

また将来予測を行う場合にも、(c)のように過去のデータから分布を想定し、シミュレーションに用いている方が、流域の状況の変化などに柔軟に対応してシミュレーションに用いる自然発生流量を修正できる利点がある。

次に、シミュレーションを行ううえでの取り扱いやすさを考慮してみる。(a)では現実存在するある1年の値を用いるので、非常に取り扱いも容易で、水収支を計算していくのも容易である。一方、(c)では分布をそのまま用いてシミュレーションを行っていくので、取り扱うデータ量が膨大となってしまう。

以上に、各形式の特徴を述べてきたが、今までの議論は(c)の形式に関して想定している分布関数が実際の自然発生流量の予測値として非常に精度が高いことを仮定してのものである。つまり、(c)の形式の使用に関しては、作成された自然発生流量の実際の状況の再現性について検討しておく必要がある。

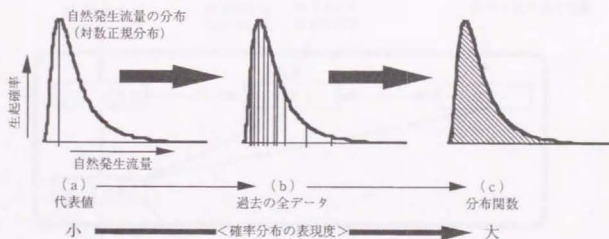


図3-10 各形式の分布の表現割合

3. 3. 2 自然発生流量系列の作成

本研究では水文事象の不確定性を考慮するために前節の(c)の形式を用いることとし、過去の流量データ等から自然発生流量の分布関数を作成する。ただし、実際のシミュレーションに用いるのは、この分布関数から乱数を用いて作成された1年分の自然発生流量1000系列である。使用した流量データは流量年表²⁾、水資源施設等管理年報⁵⁾、多目的ダム管理年報⁶⁾の1978～87年の10年間のデータである。

(1) 自然発生流量の確率分布の作成

まず、10年間の実際の自然発生流量を算出する。自然発生流量はシミュレーションモデルにおける水循環を考へて、図3-11における四角形で囲まれた領域に出入りする水量を用いて以下の式によって算出する。

$$\begin{aligned} \text{自然発生流量} = & \text{河川下流地点流量} - \text{河川上流地点流量} + \text{蒸発散量} \\ & \pm \text{他流域との水収支} \pm \text{地下水との水収支} \end{aligned} \quad (3.2)$$

ここで、河川上・下流地点の流量には流量観測地点流量やダムの流入量や放流量などの実測値を用いる。蒸発散量や他流域、地下水との水収支については実測値が存在しないので、水・汚濁負荷収支のシミュレーションにおいて設定するパラメーターから推定する。

ここで自然発生流量が対数正規分布に従うと仮定して、この分布を決定するために、算出された自然発生流量を対数化して、各小流域について月ごとの平均値と標準偏差を求める。ここで問題となるのは、河

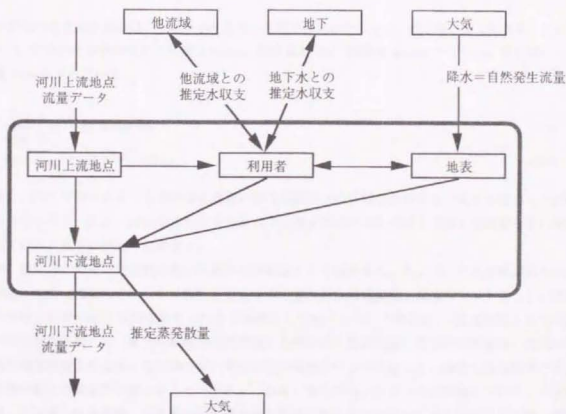


図3-11 自然発生流量の算出方法

川において下流地点の流量が上流地点の流量より少なくなっている場合で、蒸発散量などを考慮しても自然発生流量が負になってしまい、対数化ができなくなることである。このような状況は平野部で利水が複雑になっている流域で多く見られる。その場合、10年間の各月ごとの最小値を調整値として自然発生流量から引いた後に対数化を行って平均値と標準偏差を求め、その分布を決定している。そしてこの分布から自然発生流量を作成するときにこの調整値を逆に加えるという手続きをとることにしている。

(2) 自然発生流量の相互相関と自己相関

次に、相関係数を用いて、流域間の自然発生流量の相関性（相互相関）とある半旬と次の半旬との間の自然発生流量の相関性（自己相関）について検討する。

相互相関性については、降水量では隣接地点間で非常に高くなる。一ノ瀬ら¹³⁾は半旬降水量を用いて関東地方において地点間のクラスター分析を行っているが、地点間の相関係数の大部分は0.9を越えている。自然発生流量では降水量ほど高くないが、表3-8に示したように対象流域内の23小流域間の相互相関係数253個のうち、0.9以上の物が4個、0.8以上が22個と高い相関性を有している小流域も多い。草木、乙女などの山間部を含む流域が相関係数が高い傾向にある。

表3-9にはいくつかの小流域について、半旬単位の自然発生流量の自己相関係数を月ごとに示す。この表によると冬から春にかけて相関係数が高く、0.9を越えている場合も多い。

以上から、半旬単位では相互相関性、自己相関性とも自然発生流量を作成するうえで考慮に入れる必要があるものと思われる。

(3) 自然発生流量の作成方法

各小流域の自然発生流量は、1から999までの乱数Randomから(3.3)式を用いて y を求め、さらにその y と(1)で求めた確率分布の平均値Average、標準偏差Std、調整値Adjustから(3.4)式を用いて自然発生流量Flowを求めている。

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_y^\infty e^{-\frac{y^2}{2}} dy = \text{Random} \quad (3.3)$$

$$\text{Flow} = 10^{\text{Average} + y \times \text{Std}} + \text{Adjust} \quad (3.4)$$

しかし、(2)で述べたような自然発生流量の相互相関性や自己相関性は以上の式から算出しただけでは表現できないので、図3-12に示したような流れで乱数を作成することにより相互相関性や自己相関性を考慮している。以下に詳しく説明する。

まず、他流域との相互相関性の高い流域を代表流域として選出する。そして、代表流域以外的小流域の相互相関性指標（係数とそのリンク先）を設定する。基本的に代表流域を係数のリンク先とし、該当流域と代表流域との間の相互相関係数をそのまま係数として用いることにするが、（該当流域と第三の流域との間の相互相関係数）×（第三の流域と代表流域との間の相互相関係数）の方が該当流域と代表流域との間の相互相関係数より大きくなる場合は、その第三の流域をリンク先として、係数も該当流域と第三の流域との間の相互相関係数を用いることとする。これは、例えばA、B2つの小流域について、A流域と代表流域、B流域と代表流域、A流域とB流域の相互相関係数をそれぞれ0.9、0.7、0.8とした時、B流域の相関性指標はリンク先を代表流域とすると係数は0.7であるが、A流域を経由するとB流域からA流域が

表3-8 各小流域間の半旬自然発生流量の相互相関係数

	矢木	藤原	相俣	屋形	園原	岩本	村上	上福	上里	高松	岩井	岩鼻	下久	八斗	古戸	川俣	草木	高津	早川	藤岡	中里	乙女	栗橋	平均
矢木沢		0.436	0.824	0.577	0.767	0.037	0.489	0.537	0.405	0.349	0.473	0.252	0.500	0.457	0.373	0.189	0.590	0.358	0.483	0.417	0.479	0.495	0.232	0.442
藤原	0.436		0.514	0.128	0.496	0.086	0.364	0.259	0.278	0.263	0.275	0.189	0.288	0.122	0.101	0.147	0.356	0.226	0.242	0.280	0.322	0.294	0.179	0.266
相俣	0.824	0.514		0.574	0.864	0.193	0.773	0.688	0.622	0.517	0.700	0.461	0.720	0.440	0.561	0.371	0.833	0.515	0.642	0.607	0.666	0.708	0.460	0.602
屋形原	0.577	0.128	0.574		0.557	-0.258	0.384	0.334	0.286	0.263	0.370	0.135	0.361	0.238	0.254	0.169	0.454	0.300	0.368	0.360	0.403	0.380	0.130	0.308
園原	0.767	0.496	0.864	0.557		0.048	0.693	0.625	0.560	0.458	0.655	0.381	0.686	0.395	0.495	0.293	0.770	0.519	0.613	0.595	0.632	0.646	0.419	0.553
岩本	0.037	0.086	0.193	-0.258	0.048		0.346	0.356	0.363	0.248	0.346	0.450	0.328	0.214	0.387	0.248	0.285	0.303	0.341	0.348	0.241	0.324	0.482	0.260
村上	0.489	0.364	0.773	0.384	0.693	0.346		0.594	0.805	0.619	0.834	0.583	0.851	0.449	0.620	0.398	0.855	0.659	0.694	0.723	0.737	0.815	0.583	0.630
上福島	0.537	0.259	0.688	0.334	0.625	0.356	0.594		0.601	0.515	0.722	0.634	0.685	0.285	0.689	0.444	0.678	0.353	0.752	0.621	0.622	0.691	0.602	0.559
上里見	0.405	0.278	0.622	0.286	0.560	0.363	0.805	0.601		0.503	0.828	0.594	0.823	0.442	0.623	0.346	0.802	0.657	0.693	0.727	0.733	0.810	0.535	0.593
高松	0.349	0.263	0.517	0.263	0.458	0.248	0.619	0.515	0.503		0.679	0.413	0.671	0.451	0.543	0.353	0.641	0.509	0.501	0.577	0.606	0.633	0.575	0.495
岩井	0.473	0.275	0.700	0.370	0.655	0.346	0.834	0.722	0.828	0.679		0.654	0.955	0.467	0.715	0.447	0.853	0.652	0.785	0.791	0.816	0.868	0.645	0.660
岩鼻	0.252	0.189	0.461	0.135	0.381	0.450	0.583	0.634	0.594	0.413	0.654		0.666	0.369	0.691	0.472	0.631	0.464	0.567	0.657	0.597	0.686	0.671	0.510
下久保	0.500	0.288	0.720	0.361	0.686	0.328	0.851	0.685	0.823	0.671	0.955	0.666		0.496	0.701	0.448	0.885	0.684	0.766	0.771	0.818	0.867	0.648	0.664
八斗島	0.457	0.122	0.440	0.238	0.395	0.214	0.449	0.285	0.442	0.451	0.467	0.369	0.496		0.360	0.296	0.446	0.495	0.534	0.513	0.362	0.453	0.488	0.399
古戸	0.373	0.101	0.561	0.254	0.495	0.387	0.620	0.689	0.623	0.543	0.715	0.691	0.701	0.360		0.458	0.717	0.558	0.670	0.660	0.688	0.770	0.703	0.561
川俣	0.189	0.147	0.371	0.169	0.293	0.248	0.398	0.444	0.346	0.353	0.447	0.472	0.448	0.296	0.458		0.459	0.295	0.510	0.476	0.431	0.474	0.538	0.376
草木	0.590	0.356	0.833	0.454	0.770	0.285	0.855	0.678	0.802	0.641	0.853	0.631	0.885	0.446	0.717	0.459		0.724	0.722	0.809	0.866	0.928	0.637	0.679
高津戸	0.358	0.226	0.515	0.300	0.519	0.303	0.659	0.353	0.657	0.509	0.652	0.464	0.684	0.495	0.558	0.295	0.724		0.570	0.768	0.668	0.740	0.601	0.528
早川田	0.483	0.242	0.642	0.368	0.613	0.341	0.694	0.752	0.693	0.501	0.785	0.567	0.766	0.534	0.671	0.510	0.722	0.570		0.647	0.733	0.764	0.654	0.602
藤岡	0.417	0.280	0.607	0.360	0.595	0.348	0.723	0.621	0.727	0.577	0.791	0.657	0.771	0.513	0.660	0.476	0.809	0.768	0.647		0.861	0.888	0.641	0.624
中里	0.479	0.322	0.666	0.403	0.632	0.241	0.737	0.622	0.733	0.606	0.816	0.597	0.818	0.362	0.688	0.431	0.866	0.668	0.733	0.861		0.931	0.635	0.629
乙女	0.495	0.294	0.708	0.380	0.646	0.324	0.815	0.691	0.810	0.633	0.868	0.686	0.867	0.453	0.770	0.474	0.928	0.740	0.764	0.888	0.931		0.690	0.675
栗橋	0.232	0.179	0.460	0.130	0.419	0.482	0.583	0.602	0.535	0.575	0.645	0.671	0.648	0.488	0.703	0.538	0.637	0.601	0.654	0.641	0.635	0.690		0.534

表 3-9 各小流域における半旬自然発生流量の各月の自己相関係数

	矢木沢流域	村上流域	下久保流域	古戸流域	草木流域	乙女流域	全流域平均
1 月	0.617	0.989	0.866	0.960	0.940	0.938	0.900
2 月	0.632	0.950	0.725	0.863	0.680	0.524	0.767
3 月	0.672	0.626	0.829	0.767	0.548	0.773	0.712
4 月	0.699	0.436	0.746	0.579	0.546	0.648	0.616
5 月	0.725	0.507	0.693	0.785	0.647	0.703	0.671
6 月	0.799	0.424	0.822	0.760	0.492	0.691	0.620
7 月	0.610	0.498	0.504	0.309	0.357	0.506	0.412
8 月	0.472	0.535	0.473	0.600	0.500	0.596	0.504
9 月	0.511	0.683	0.586	0.822	0.575	0.600	0.522
10 月	0.518	0.632	0.651	0.914	0.492	0.575	0.615
11 月	0.334	0.708	0.895	0.934	0.777	0.780	0.774
12 月	0.663	0.851	0.967	0.912	0.922	0.920	0.862

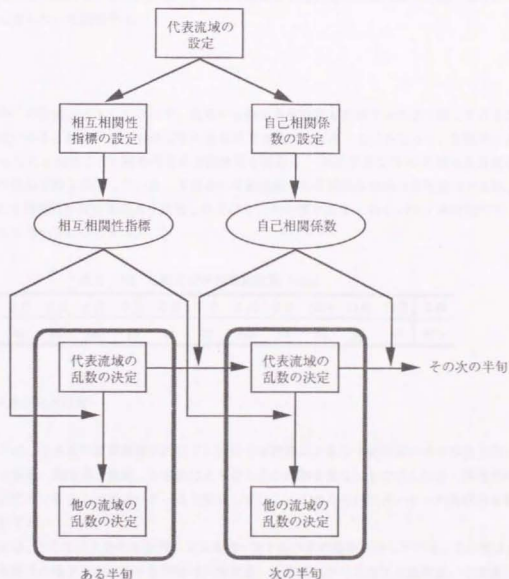


図 3-12 乱数の算出方法

0.8、A流域と代表流域が0.9なので、 $0.8 \times 0.9 = 0.72$ で0.7より大きくなることから、リンク先をA流域とし、係数を0.8とするようにしている。このように設定を決めた後乱数作成用プログラムを1～999までの乱数が発生するように設定して、各小流域において自然発生流量を算出するうえで使用される乱数を作成していく。

まず最初の半旬の代表流域には、プログラムにより発生させた乱数をそのまま用いる。他の流域については新たに乱数を発生させ、その乱数が相互相関性指標のリンク先との係数の1000倍より小さい値であればリンク先で用いられた乱数をその流域についても用い、そうでない場合は全く独立に発生させたもう一つの乱数を用いるようにする。次の半旬の代表流域の乱数は、新たに乱数を発生させて、その乱数がその月の代表流域の自己相関係数の1000倍より小さい値であれば前の半旬で用いられた乱数をそのまま用い、そうでない場合は全く独立に発生させたもう一つ乱数を用いて自然発生流量を算出するようにする。

このようにして算出された乱数を用いて73半旬1000系列の各小流域の自然発生流量を計算する。

3. 3. 3 自然発生流量作成用のパラメーター

以下に、蒸発散量や他流域や地下水との水収支、相関性指標など自然発生流量作成時に用いられるパラメーターとその設定値について説明する。

(1) 蒸発散量

蒸発に関しては多くの研究がなされてきたが、流域からの総蒸発散量を算出する方法に関しては未だ確立されていない現況にある。植原¹⁴⁾は、日本全国の各水系の水収支を算出するにあたって、比較的共通した気候を有するとみられる地域ごとに複数の蒸発量観測所を選定し、1965年までの10年間の各月蒸発量の平均値を用いて月蒸発散量を算出している。本研究の対象流域である利根川流域の蒸発量は中宮祠、秩父、前橋、宇都宮の4観測所の測定値により算出されており、その値を表3-10に示す。本研究でも、この値を蒸発散量として用いることとする。

表3-10 月間及び年間蒸発散量 (mm)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
41	46	61	68	73	65	72	80	54	42	36	37	675

(2) 他流域、地下水との水収支

他流域との水収支は、上水道や農業用導水路などにおける水利用にともなう流域間の水の移動を指している。この値は、上水道、製造業、農業、下水道にともなう水の移動を表3-6で示した水・汚濁負荷収支シミュレーションで用いられるパラメーターより算出している。これらのパラメーターの具体的な値については次章で説明する。

地下水との水収支は、ここでは人為的な原因による地表・地下間の水の移動を指している。この値は、生活系、製造業系、農業系の地下水取水量と各利用時の消失量、上水道における地下水涵養量、下水道への混入量などを他流域との水収支と同様に表3-6で示したパラメーターにより算出している。

表 3-11 草木流域・乙女流域、下久保流域を代表流域とした時の各流域の相互相関性の指標

代表流域	草木流域				乙女流域				下久保流域			
	代表流域との相関係数	第三の流域を用いる場合			代表流域との相関係数	第三の流域を用いる場合			代表流域との相関係数	第三の流域を用いる場合		
		流域名	相関係数	係数の積		流域名	相関係数	係数の積		流域名	相関係数	係数の積
矢木沢	0.590	相俣	0.824	0.686	0.495	相俣	0.824	0.637	0.500	相俣	0.824	0.824
藤原	0.356	相俣	0.514	0.428	0.294	相俣	0.514	0.397	0.288	相俣	0.514	0.514
相俣	0.833				0.708	草木	0.833	0.773	0.720	草木	0.833	0.833
屋形原	0.454	相俣	0.574	0.478	0.380	相俣	0.574	0.444	0.361	相俣	0.574	0.574
蘆原	0.770				0.646	草木	0.770	0.715	0.686			
岩本	0.285	藤岡	0.348	0.287	0.324				0.328			
村上	0.855				0.815				0.851			
上福島	0.678				0.691				0.685	岩井	0.722	0.722
上里見	0.802				0.810				0.823			
高松	0.641				0.633				0.671			
岩井	0.853				0.868				0.955			
岩鼻	0.631	乙女	0.686	0.637	0.686				0.666			
下久保	0.885				0.867				-----	-----	-----	-----
八斗島	0.446				0.453	藤岡	0.513	0.456	0.496			
古戸	0.717				0.770				0.701			
川俣	0.459				0.474				0.448			
草木	-----	-----	-----	-----	0.928				0.885			
高津戸	0.724				0.740				0.684			
早川田	0.722				0.764				0.766			
藤岡	0.809	乙女	0.888	0.824	0.888				0.771			
中里	0.866				0.931				0.818			
乙女	0.928				-----	-----	-----	-----	0.867			
栗橋	0.637	乙女	0.690	0.640	0.690				0.648			

※太線が選択された係数

(3) 相関性の指標

以降のシミュレーションでは、相関性を考えていくうえでの代表流域として、表3-8に示した相互相関係数の平均値が高かった草木流域、乙女流域、下久保流域について検討する。

相互相関性の指標については、表3-11に代表流域と各流域との相互相関係数、他の第三の流域との相互相関係数を用いる場合のリンク先と相互相関係数、相関係数の積を示す。

自己相関性の指標については、各代表流域の月ごとの自己相関係数を表3-12に示す。

表3-12 各代表流域の月別自己相関係数

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
草木	0.940	0.680	0.548	0.546	0.647	0.492	0.357	0.500	0.575	0.492	0.777	0.922
乙女	0.938	0.524	0.773	0.648	0.703	0.691	0.506	0.596	0.600	0.575	0.780	0.920
下久保	0.866	0.725	0.829	0.746	0.693	0.822	0.504	0.473	0.586	0.651	0.895	0.967

3.3.4 自然発生流量の再現性の検討

3.3.3で述べたパラメーターを用いて5通りの条件を用いて11の自然発生流量系列を作成し、その再現性に関する考察を行う。表3-13に作成条件を示す。A、B、Cでは相互相関性や自己相関性を考慮するかどうかで条件を分けており、C、D、Eでは相互相関性指標を設定するときの代表流域の違いで条件を分けている。A、C、Dについては乱数自体のばらつきの自然発生流量系列への影響を検討するために同じ条件で3つの自然発生流量系列を作成する。よって、B、Eの条件で作成された自然発生流量系列を合わせて合計11の自然発生流量系列を作成している。

これらの11の系列の年間発生流量の平均値と標準偏差を表3-14に示す。また、1978～87年の実測値を用いて算出された年間発生流量の平均値と標準偏差も併せて示す。A-1～3は自己相関性、相互相関性とも考慮しない自然発生流量系列で、B-1は相互相関性のみ考慮した自然発生流量系列、C-1～3は相互相関性・自己相関性とも考慮して代表流域を草木流域とした自然発生流量系列で、D-1～3とE-1は相互相関性・自己相関性とも考慮しているが、代表流域を草木流域から乙女流域と下久保流域に変更した自然発生流量系列である。この表より、作成された各系列では平均値はほとんど変わらないと言えるが、実測値の平均と作成された各系列の平均には明らかな差がある。これには、以下に示すような理由が考えられる。

図3-13に横軸を対数軸とする場合と普通軸とする場合の対数正規分布を示す。3.3.2で述べたように、既存のいくつかのデータの対数平均と対数標準偏差から、図のような自然発生流量の分布を求めている。この分布において図に斜線で示している既存のデータの最大値より大きい部分と最小値より小さい

表3-13 各自然発生流量系列の作成条件

条件	相互相関性	自己相関性	代表流域名
A	無視	無視	草木
B	考慮	無視	草木
C	考慮	考慮	草木
D	考慮	考慮	乙女
E	考慮	考慮	下久保

表3-14 各自然発生流量系列の年間発生流量の平均と標準偏差 (百万トン)

系列名	平均	標準偏差
実測値	14375	1734
A-1	14827	339
A-2	14826	341
A-3	14815	356
B-1	14826	867
C-1	14942	1625
C-2	14826	1554
C-3	14745	1533
D-1	14854	1837
D-2	14804	1731
D-3	14762	1729
E-1	14778	1810

部分に注目すると、これらの部分は既存のデータから推定される部分であるが、最大値より上の部分が最小値より下の部分よりその平均値に与える影響が大きいことが図よりわかる。つまり対数平均では既存のデータも新たに作成された分布も等しいが、新たに作成された分布の平均値はデータ数を増やすことの影響により既存のデータの平均値より大きくなってしまっている。

各系列間での標準偏差の相違については以下に詳しく検討していく。

(1) 相互相関性、自己相関性を考慮による影響

3. 3. 2で述べた方法で相互相関性と自己相関性を考慮に入れたが、これが作成された自然発生流量系列にどのような影響を与えているかを検討する。相互相関性・自己相関性をともに考慮しなかったA-1と相互相関性のみ考慮したB-1、そして両方の相関性を考慮したC-1を比較する。

図3-14に上記の3つの系列についての年間発生流量の度数分布を示す。A-1とB-1

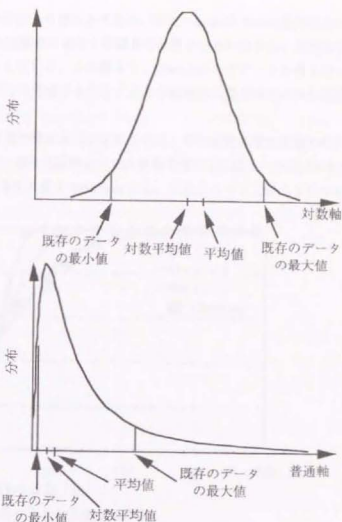


図3-13 自然発生流量系列の分布

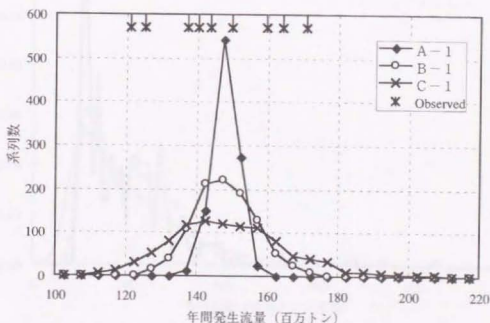


図3-14 年間発生流量の度数分布

では、実測値の散らばりがうまく表せていないのは図より明らかである。図3-15には3つの系列について累積度数分布を示す。Observedは、先に述べた実測値に基づく年間発生流量を小さい方から、系列数が50、150、250、350、・・・、950の所にプロットしている。この図より、Observedのプロットと最も近いのはC-1であり、相互相関性と自己相関性の両方を考慮することにより年間発生流量ではおおむね実際の事象を再現できているものと考えられる。

次に半旬発生流量の分布について検討する。時間の構成単位が半旬なので、半旬発生流量の分布の程度は自己相関性を考慮することからは影響を受けず、相互相関性からのみ影響を受ける。図3-16に1978～87年の実測値から算出された10年間の半旬自然発生流量をObservedとし、これとA-1、C-1について

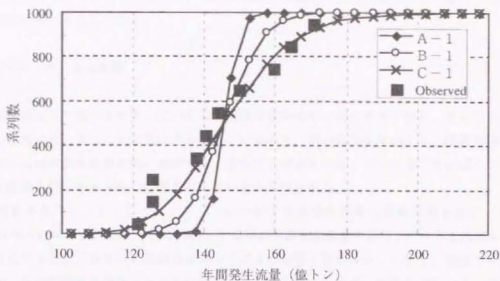


図3-15 年間発生流量の累積度数分布

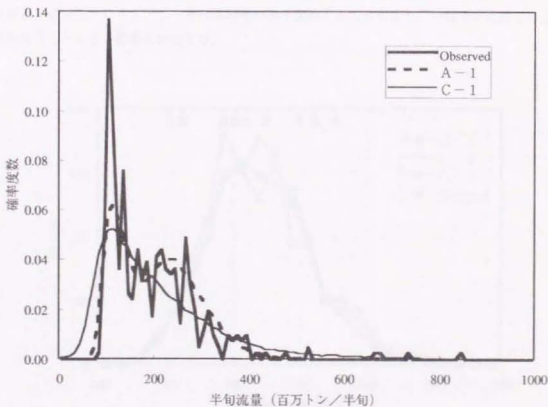


図3-16 半旬流量の確率度数分布

で確率分布を示す。また、半旬流量の最大値は、Observed、A-1、C-1でそれぞれ、約12億トン、約6億トン、約16億トンとなっており、最小値はそれぞれ、約8千万トン、約5千万トン、-8千万トンとC-1では負の値となっている。

A-1、C-1を比較すると、流量が多い方では最大値から判断してC-1の方がObservedの分布を表すのに適している。一方、流量が少ない方では最小値や分布形から明らかにA-1の方が適している。

C-1のように相互相関性と自己相関性を考慮して作成した場合は、半旬単位では極端に流量が小さくなる状態が多くなるという問題点があり、これは地下水からの地上への湧出などを取り扱っていないことによるものと考えられる。このような地下水がらみの水の動きに関しては、前でも述べたように現時点では取り扱わないことにしているので、これ以降相互相関性、自己相関性とも考慮して作成するという条件を基本的に用いることとする。

(2) 乱数のばらつきによる影響

自然発生流量系列を作成するときに用いられる乱数は毎回独自に発生させており、さらに自己相関性や相互相関性を考慮するときにこの乱数に手を加えているので、同じ条件を用いても、乱数自体のばらつきにより作成された自然発生流量系列に差がでてくるものと考えられる。ここでは、そのばらつきが作成された自然発生流量系列にどのような影響を与えているかを検討する。

条件Cで作成されたC-1、C-2、C-3について年間発生流量の度数分布を図3-17に示す。Observedは1978-87年の実測値を用いて算出した各年の年間発生流量である。これらと比較すると、その分布の中央付近で少し差がみられ、乱数のばらつきによる影響と思われる。しかし、先ほども述べたように自己相関性、相互相関性を考慮するときに乱数に手を加えているので、乱数のばらつきに偏りがある可能性がある。そこで、これらを考慮しないという条件Aを用いて作成されたA-1、A-2、A-3の系列間の差と、C-1、C-2、C-3の系列間の差を比較することにより、相関性を考慮したときに乱数に手を加えたことによる影響を検討する。

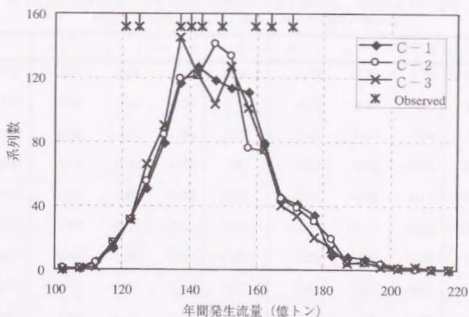


図3-17 年間発生流量の度数分布

表3-15は、上記の6つの自然発生流量系列について年間発生流量が少ないものから並べかえたときの各順位に対する流量と同一条件で算出された発生流量系列間の流量の差を示したものである。各順位における流量の差は、A-1と3と比較して明らかにC-1と3の方が大きくなっている。ただし、C-1と3の方がA-1と3と比較して標準偏差が大きいことを考えると、単純に流量の差だけで比較はできない。そこで、各順位の流量について、平均との差を標準偏差で割って標準化を行い、その値を表3-16に示す。各順位における標準化した値の差については、A-1と3とC-1と3で違いが見られないことから、自己相関性や相互相関性を考慮したことによる乱数の偏りの影響は、年単位の流量についてはほとんどないものと考えられる。

表3-15 各自然発生流量1000系列の年間発生流量が少ない方からの順位とその流量、
ならびに同一条件の系列間の流量の差(百万トン)

	C-1	C-2	C-3	流量の差	A-1	A-2	A-3	流量の差
100位	12974	12943	12845	129	14375	14384	14365	19
200位	13595	13535	13474	121	14564	14523	14511	53
300位	14007	13956	13815	192	14665	14632	14624	41
400位	14389	14366	14187	202	14748	14736	14724	24
500位	14825	14721	14617	208	14825	14820	14811	14
600位	15236	15063	15069	173	14909	14905	14915	10
700位	15663	15450	15465	213	14995	14998	15007	12
800位	16186	16105	15950	236	15106	15122	15106	16
900位	17059	16990	16752	307	15265	15279	15271	14

表3-16 各自然発生流量系列の年間発生流量を標準化した値の少ない方からの
順位とその値、ならびに同一条件の系列間の値の差

	C-1	C-2	C-3	差	A-1	A-2	A-3	差
100位	-1.21	-1.21	-1.24	0.03	-1.33	-1.30	-1.26	0.07
200位	-0.83	-0.83	-0.83	0.00	-0.78	-0.89	-0.85	0.11
300位	-0.58	-0.56	-0.61	0.05	-0.48	-0.57	-0.54	0.09
400位	-0.34	-0.30	-0.36	0.07	-0.23	-0.26	-0.26	0.03
500位	-0.07	-0.07	-0.08	0.02	-0.01	-0.02	-0.01	0.01
600位	0.18	0.15	0.21	0.06	0.24	0.23	0.28	0.05
700位	0.44	0.40	0.47	0.07	0.50	0.50	0.54	0.04
800位	0.77	0.82	0.79	0.06	0.82	0.87	0.82	0.05
900位	1.30	1.39	1.31	0.09	1.29	1.33	1.28	0.05

(3) 代表流域の選択による影響

次に相互相関性を考慮するうえでの起点となる代表流域について、再現性にどのような影響を与えているかを検討していく。代表流域を草木流域として作成された自然発生流量系列C-1と乙女流域として作成されたD-1と下久保流域として作成されたE-1を比較する。前にも述べたが、これらはいずれも相互相関係数の平均が高い流域である。

図3-18に上記の3つ系列について年間発生流量の度数分布を示す。(2)のC-1~3と比較して、C-1、D-1、E-1の方が違いが大きいことがわかる。この代表流域による差が主に乱数のばらつきによるものでないことを確認するために、乙女流域を代表流域として作成されたD-2、D-3を用いて、その標準偏差を比較する。標準偏差は、表3-14より、C-1~3では15.3~16.2億トン、D-1~3では17.3~18.4億トンとなり、草木流域を代表とするC-1~3の標準偏差と乙女流域を代表とするD-1~3の標準偏差には明らかな差があり、乙女流域の方がより幅の広い分布になっていることがわかる。このことから現在の自然発生流量系列の作成方法では、相互相関性を考慮するための代表流域の選択により、作成される自然発生流量系列に違いがあることがわかる。ただし、実測値からでは草木流域と乙女流域とでどちらを代表流域にしたほうが再現性が高いかは判断できない。

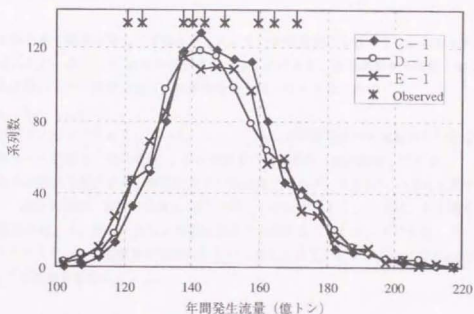


図3-18 年間発生流量の度数分布

(4) 自然発生流量の再現性の検討のまとめ

本研究では、自然発生流量の自己相関性、相互相関性を考慮するために3.3.2で示した方法を用いているが、これにより年間発生流量では自然発生流量の分布を再現することができたが、半旬という時間単位では実際の分布より幅ができてしまっており、特に流量が少ない方で分布の裾が広がっている。

この原因としては、まず3.3.2の方法では相互相関性の指標を使って相関性があると設定されると2つの流域で同じ乱数が使われるため、相互相関性の影響が大きくなりすぎていることが考えられる。

また、流量が少ない方で再現性に問題があることから、平野部と山間部で同じように発生流量を対数正規分布としていることや発生流量の分布として対数正規分布を用いたことなどにも検討の余地がある。

ただし、本研究の目的は自然発生流量の不確定性を考慮した水・汚濁負荷収支のシミュレーションを行うことにあり、その結果行われる様々な施策の評価は相対的なものとして行われるので、ここではこれ以上の検討は行わない。以降のシミュレーションでは自然発生流量系列として基本的に相互相関性、自己相関性を共に考慮し、代表流域を草木流域としたC-1が用いられる。

3. 4 評価指標

3. 2, 3で述べたようにこのモデルでは、自然発生流量1000系列を用いてシミュレーションを行って得られた1000系列の河川流量や水使用量などからさまざまな評価指標を算出している。ここでは、このような水や汚濁物質の動きについてのシミュレーションモデルにおいて用いられた評価指標について既存の研究からまとめるとともに、本論文で構築したモデルにおいて用いた評価指標について説明する。

3. 4. 1 水・汚濁負荷収支シミュレーションにおける評価指標

(1) 利水安全度に関する指標

利水の安全性を表す指標に関しては現在までにいくつか研究が行われてきた。これらの指標は利水安全度指標と呼ばれるが、森川ら¹⁵⁾は利水安全度を大きく分けると、水を開発する段階、水を供給する段階、水を使用する段階の3つの段階があり、利水安全度 α はこれらをまとめて、

$$\alpha = A \cdot B / (1 - C)$$

という式で考えることができるとしている。ここで、 A は水源管理者の水供給能力の安全率（開発段階）、 B は利水事業者の対応能力（供給段階）、 C は需要者の受忍限度（使用段階）である。

流域管理施策の評価で重要である開発段階での安全度であるが、中安ら¹⁶⁾の考えを用いると、渇水の頻度だけでなく、渇水の期間・程度（規模）、厳しさの4つに大別される。例えば、ある渇水における最大取水制限率は渇水の厳しさ、取水不足%×日数は渇水の程度を表していることになる。またHashimotoら¹⁷⁾は、水資源システムにおける流量等が確率的なものと考えて以下に示すような式でReliability、Resiliency、Vulnerabilityの3指標を提案している。

$$Reliability = \text{Prob}[q(t) \in S] \quad (3.5)$$

$$Resiliency = \frac{\text{Prob}[q(t) \in F \text{ and } q(t+1) \in S]}{\text{Prob}[q(t) \in F]} = \text{Prob}[q(t+1) \in S | q(t) \in F] \quad (3.6)$$

$$Vulnerability = \sum_{q \in F} \text{Prob}[q(t) = q] \times \left(\frac{q^*(t) - q}{q^*(t)} \right)^{\beta} \quad (3.7)$$

- $q(t)$: 期間 t における水量
- $q^*(t)$: 期間 t における基準水量
- S : 水量が安全側にある状態
- F : 水量が危険側（渇水）にある状態

ここでHashimotoらの3指標について中安らの考え方を用いると、Reliabilityは渇水の頻度、Resiliencyは渇水の期間、Vulnerabilityは β の値によるが渇水の程度もしくは厳しさを表す指標になっている。

(2) 利水安全度の経済的指標への変換

水管理計画においてさまざまな代替案を比較検討するときに費用便益分析などが行われるが、そのためにはこれらの費用と便益を同じ尺度にしておく必要がある。よって、2章の河川経済調査要綱で述べたように得られた便益や費用の軽減を金銭で表すことが行われる。

中澤ら¹⁸⁾は昭和48年の高松渇水を対象としてその渇水被害状況と対応策に関するヒヤリング調査の結果より以下のように単位不足水量に対する被害額を渇水被害原単位として算出している。

上水道事業体	: $P = 150$	
家庭用水	: $P = 2.05S^2 - 147S + 2613$	
業務用水	: $P = 3S^2 + 10S$ (営業停止損失が大きい業種)	(3.8)
	: $P = -0.75S^2 + 1225S$ (営業停止損失が小さい業種)	
工業用水	: $P = 0.33S^2 - 1.28S$ (淡水使用量が少ない業種)	
	: $P = 0.025S^2 + 1.75S$ (淡水使用量が多い業種)	
農業用水	: $P = 0.066S^2 - 0.33S$ (水田のみ)	
P : 渇水被害原単位 (円/㎡)		
S : 節水率 (%)		

また、山内¹⁹⁾はこれらの渇水被害原単位についてアンケート等の調査結果をもとに見直しを行っている。

3. 4. 2 構築したモデルにおける評価指標

水・汚濁負荷収支シミュレーションの結果得られた河川各地点の流量と水質、対象流域外への導水量と水質、ダムの貯水量と水質、4種類の用途別の取水量と使用水量、地下水収支、下水処理水量について評価指標が算出される。評価指標は半旬ごとに算出される指標と1年を単位として算出されるものに分けられる。表3-17に評価指標の一覧とその内容、対象となるデータを示す。この表における渇水とは、ある基準水量を下まわる状態か、ダム貯水量の場合は利水容量が0になった状態である。基準水量として、河川流量の場合は維持流量、流域外導水量やダム群放流目標地点流量の場合は設定された導水量や基準流量、用途別取水量の場合はパラメーターから算出された水需要量が用いられる。以下に各指標の概要を説明する。

[半旬単位の指標]

最大半旬水量・平均半旬水量・最小半旬水量：半旬ごとの、1000系列中の最大値、平均値、最小値。用途

別取水量や導水量などでは、最大値を考慮する必要がないので算出していない。

不足確率：Hashimotoら¹⁷⁾の提案したReliabilityを参考にしたもので、半旬ごとの渇水が起こっている確率。

不足度：Hashimotoら¹⁷⁾の提案したVulnerabilityを参考にしたもので、半旬ごとの渇水が起こったときの

不足率(%)の平均値。

平均水質、最大水質：水質4項目について、半旬ごとの1000系列中の平均値、最大値。

超過確率：BODについて、半旬ごとの水質基準を超過する確率。

表3-17 評価指標の一覧

	評価指標	単位	指標の内容	対象データ
半 旬 単 位 の 指 標	最大半旬水量	トン	各半旬における全系列中の最大水量	下水処理水量、地下水収支
	平均半旬水量	トン	各半旬における全系列の平均水量	河川流量、ダム貯水量、用途別取水量、
	最小半旬水量	トン	各半旬における全系列中の最小水量	流域外導水量、下水処理水量、地下水収支
	不足確率	%	各半旬の渇水が起る確率	河川流量、ダム貯水量、用途別取水量、
	不足度	%	各半旬の渇水が起った時の不足の程度	流域外導水量、最下流地点流量
	平均水質	mg/ℓ	各半旬における全系列の平均水質	河川水質、ダム水質
	最大水質	mg/ℓ	各半旬における全系列中の最大水質	
	超過確率	%	各半旬の水質基準を上まわる確率	河川水質
1 年 単 位 の 指 標	平均渇水流量	トン/秒	渇水流量の全系列の平均値	河川流量
	平均低水流量	トン/秒	低水流量の全系列の平均値	
	平均平水流量	トン/秒	平水流量の全系列の平均値	
	平均豊水流量	トン/秒	豊水流量の全系列の平均値	
	平均年間水量	トン	全系列の平均年間水量	河川流量、ダム貯水量、用途別取水量、
	渇水年確率	%	渇水が起る系列/全系列	流域外導水量、下水処理水量、地下水収支
	平均渇水日数	日	渇水が起る系列における平均渇水日数	河川流量、流域外導水量、用途別取水量、
	平均渇水被害	%・日	全系列の年間渇水被害の平均値	最下流地点流量
	平均渇水被害額	億円	全系列の平均渇水被害額	用途別取水量、流域外導水量、最下流地点流量
	平均水質	mg/ℓ	全系列の平均水質	河川水質、ダム水質
	水質50%値	mg/ℓ	全系列の水質の50%値(中央値)の平均値	河川水質
	水質75%値	mg/ℓ	全系列の水質の低い方から75%の値の平均値	
	超過確率	%	全系列の水質基準を上まわる確率	

※ 渇水流量、低水流量、平水流量、豊水流量は1年でそれぞれ355日、275日、185日、95日はこの流量を上回るような流量

[1年(系列)単位の指標]

平均年間水量：年間水量の1000系列の平均値。用途別取水量と地下水収支では、対象流域全体の平均値も算出している。

平均渇水流量・低水流量・平水流量・豊水流量：各系列における渇水流量(年間で355日は流量がこの値を上回るような流量)、低水流量(275日)、平水流量(185日)、豊水流量(95日)の全系列の平均値。

渇水年確率：1000系列中渇水が起こっている系列の割合を確率として算出したもの。

平均渇水日数：渇水が起こっている系列における渇水日数の平均値。

平均渇水被害：ある1年にどの程度の被害が見込まれるかを(不足%×日)という単位で表したもの。各小流域(上水道事業体)の水需要量に応じた重みづけの平均をとって、対象流域全体の平均渇水被害も算出している。

平均水質：水質4項目についての平均値。

水質50%値・75%値：水質4項目について、各系列の低い方から50%と75%の値の全系列の平均値。

超過確率：BODについて、水質基準を超過する確率。

平均渇水被害額：3.4.3で述べる渇水被害額原単位を用いて算出した年間渇水被害額の平均値。用途別水量に関しては、取水量ではなく使用水量を用いている。

3.4.3 渇水被害額の算出方法

(1) 渇水被害額原単位の算出

渇水被害額は、対象データについて基準水量からの不足水量と渇水被害額原単位の積で算出される。渇水被害額原単位は、中澤ら¹⁰⁾の研究による(3.8)式を参考に、以下の式を用いて算出する。

$$\text{上水道系水利用} : P = 150 \quad (3.9)$$

$$\text{上水道系・他生活系水利用} : P = 2.05S^2 - 147S + 2613 \quad (3.10)$$

$$\text{製造業系水利用} : P = 0.33S^2 - 1.28S \quad (3.11)$$

$$\text{農業系水利用} : P = 0.066S^2 - 0.33S \quad (3.12)$$

P ：渇水被害原単位(円/㎡)、 S ：不足率(%)

上水道系の被害額原単位には(3.9)と(3.10)の和を用いる。各用途の渇水被害原単位は不足率に対して図3-19のように変化する。特に、上水道系、他生活系の原単位は不足率が40%あたりから急激に増加しており、水需要のうちこれらの比率が多いような流域において、渇水時でも不足率が40%程度に抑えることができれば被害額は大きくならないものと考えられる。

(2) 流域外導水量や最下流地点流量の渇水被害原単位

流域外導水量と最下流地点流量の被害額原単位は、それぞれにおいて設定された用途別導水量、用途別基準水量を用いて算出する。対象流域内では、流域外導水路としては利根導水路だけで、最下流地点流量は栗橋地点である。ここでは、具体的に利根導水路導水量に対する渇水被害額原単位の算出方法を説明する。

利根導水路の月ごとの設定導水量を表3-18に示す。導水量が不足した場合、維持水量以外の用途にそのしわ寄せがくるものとして維持流量以外について用途別の比率を算出し、その不足率に対して(3.9)～

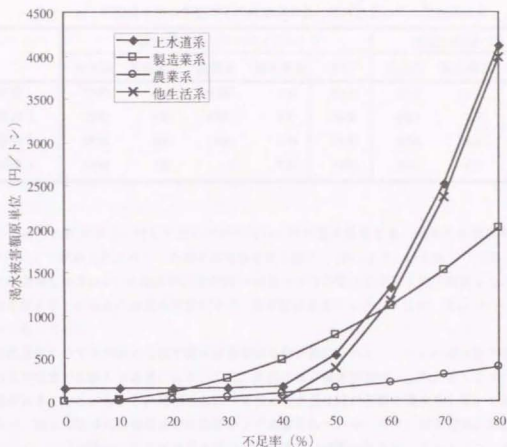


図3-19 用途別不足率ごとの洪水被害額原単位

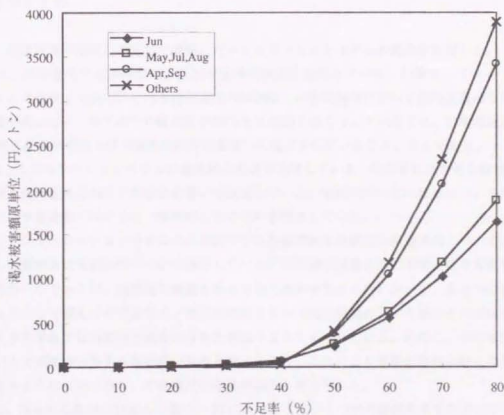


図3-20 武蔵導水路導水量の不足率に対する洪水被害額原単位

表3-18 利根導水路の季節ごとの設定導水量と維持流量以外の用途別比率

	設定導水量 (千トン/日)					用途別比率 (%)		
	生活系	製造業系	農業系	維持流量	合計	生活系	製造業系	農業系
季節1	2500	100	6000	700	9300	33.8	1.4	64.8
季節2	2500	100	4500	700	7800	40.7	1.7	57.6
季節3	2500	100	800	700	4100	82.8	3.4	13.8
季節4	2500	100	0	700	3300	96.0	4.0	0.0

(3.11) より求められた原単位に対して重み付けを行って利根導水路導水量の洪水被害額原単位を算出する。このようにして求められた月ごとの洪水被害額原単位を図3-20に示す。40%以下では既して原単位が小さくその増加率も小さいが、生活系の比率が高い10月～3月の原単位が若干他の時期より小さくなっている。40%を超えると生活系の被害の影響がでて、原単位は非常に大きくなるが、特に10～3月の増加率が最も大きくなっている。

栗橋地点流量についても同様な方法で洪水被害額原単位が算出される。これらの導水量や基準流量は対象流域内の水使用量と比較して非常に大きいので、算出される洪水被害額も当然大きくなり、総被害額に与える影響が大きくなる。しかし、利根導水路や栗橋地点流量は河川流量と導水量を用いて被害額を算出しているので、例えば流域外の他の水源の影響などが考慮されていないなど、利用者側における被害額ではない。よって、ここで算出した流域外導水路などの被害額は実際の被害額より大きくなっているものと考えられるので、以降のシミュレーション結果を評価する際にはこの点を考慮にいれておく必要がある。

5. 第3章のまとめ

本章では、対象流域の概要と本論文で構築したシミュレーションモデルの構造を説明した。

3.1では、対象流域である利根川水系上中流域の状況を説明している。以降のシミュレーションを行っていくうえで考慮に入れておくべき対象流域の特徴は、対象流域内において使用水量のうち農業用水がしめる比重が高いこと、地下水への依存度が50%と比較的に高くなっていること、対象流域からの発生流量のうち20%以上が利根大堰で取水されて他流域へと導水されていること、などである。

3.2では、シミュレーションモデルの基本的な構造を説明している。時間単位は半旬を採用しており、水需要量や発生負荷量は基本的に原単位を用いて推定している。流域内での水の動きについては地下水がらみの水の動きや蒸発散については一部省略してモデルを構築している。

3.3では、シミュレーションモデルの水量面での入力値である自然発生流量系列について、その不確定性を考慮した算出方法と再現性について検討している。自然発生流量系列の不確定性を考慮することは本研究の焦点の一つであるが、自然発生流量をある半旬と次の半旬との間において、あるいは流域間において独立なものとして捉えるのではなく、自己相関性あるいは相互相関性という形でその相関関係を考慮することにより年単位では自然発生流量の分布を再現することができている。ただし、半旬単位では特に流量が少ない方で実際の分布より裾が広い分布となっており、これにより実際の評価の時には洪水被害を過大に見積もるようになっており、今後検討の余地があると考えられる。

3.4では、得られた流域の状況から表3-17に示すようないくつかの評価指標を算出している。このうち特徴的なものとしては、自然発生流量の不確定性を考慮しているため、洪水年確率や水質の超過確率

といったものが算出できること、また経済的な評価指標として洪水被害額を算出していることである。洪水被害額は流域内、利根導水路、最下流の栗橋地点の基準流量に対するものを算出しており、利根導水路や栗橋地点の基準流量に対するものを評価することにより、対象流域の下流部にある東京圏でも洪水被害等も考慮できるようになっている。

第3章の参考文献、参考資料

- 1) 建設省関東地方建設局利根川ダム統合管理事務所：利根川上流ダム群の概要
- 2) 建設省河川局・日本河川協会編：流量年表、昭和53～62年
- 3) 国土開発調査会編：利根川・その治水と利水、1993
- 4) 水道統計、平成元年版
- 5) 水資源開発公団編：水資源開発施設等管理年報、昭和53～62年
- 6) 建設省河川局編：多目的ダム管理年報、昭和53～62年
- 7) 河川水質年鑑、昭和57～平成4年
- 8) 国土庁長官官房水資源部編：日本の水資源、平成7年版
- 9) 小栗竹重機・田中長光・赤穂俊作：利根川上流ダム群の冬春期運用について、第4回水資源に関するシンポジウム前刷集、pp.345-350、1992
- 10) 池淵周一・小尻利治・武村彰文：確率マトリックス演算による利水システムの安全度評価に関する研究、京都大学防災研究所年報、No.30 B-2、pp.359-375、1987
- 11) 池淵周一・白村曉：利水システムの安全度評価とその淀川水系への適用に関する研究、京都大学防災研究所年報、No.32 B-2、pp.383-400、1989
- 12) 高橋琢馬・宝馨・九川幸治：洪水対策ダムの導入が利水安全度に及ぼす効果に関する基礎的研究、水文・水資源学会1989年研究発表会要旨集、pp.75-78、1989
- 13) ノノ瀬俊明・荒巻俊也・山本郷史・松尾友矩・花木啓祐：関東圏における洪水安定性の評価と水再利用システムの最適化、第28回衛生工学研究討論会講演集、pp.4-6、1992
- 14) 植原茂次：日本の河川流域の月単位水収支に基づく水文特性に関する研究、国立防災科学技術センター研究報告、No.40、pp.21-309、1987
- 15) 森川一郎・松田文秀：利水安全度指標に関する考察、第4回水資源に関するシンポジウム前刷集、pp.241-244、1992
- 16) 中安正見・振井茂宏：利水安全度に関する研究、第28回水理講演会論文集、pp.13-19、1984
- 17) T. Hashimoto, J. R. Stedinger and D. P. Loucks, "Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation", Water Resources Research, Vol.18, No.1, pp.14-20, 1982
- 18) 中澤式仁・今村瑞穂・石崎勝義・中村昭：洪水時の水管理に関する計画的な研究：土木研究所資料1508号、1979
- 19) 山内彪：洪水被害の定量的評価手法について、ダム技術、No.44、pp.5-13、1990

第4章 モデルの精度に関する考察

本章では、現在の流域状況を表したパラメーター群やダム群の運用方法を標準設定として定めてその再現性を検討し、モデル自体の精度を検証するとともに、既存の統計データや研究例からパラメーター等を設定するときに不確かさが考えられるものについては、その不確かさの範囲を仮定し、その範囲内でシミュレーション結果がどのように変化するかを検討する。また、自然発生流量系列やダム群の運用方法、洪水被害額原単位について、その違いによるシミュレーション結果への影響についても検討する。

4. 1では、既存の統計データや研究例から確定できると考えられるパラメーター群の標準設定の説明、及びダム群運用の標準設定の説明をし、その標準設定を用いたシミュレーション結果の再現性について検討している。

4. 2では、既存の統計データや研究例からは確定できないと考えられるパラメーター群のうち主に水量に影響を与えているパラメーター群の標準設定とその不確かさの範囲について述べ、シミュレーション結果に与える影響を検討するとともに、自然発生流量やダム群の運用方法の違いが与える影響も検討して、水量に関する設定の精度について考察する。

4. 3では、既存の統計データや研究例からは確定できないと考えられるパラメーター群のうち主に水質に影響を与えているパラメーター群について、標準設定とその不確かさの範囲について述べ、シミュレーション結果に与える影響について検討している。

4. 4では、評価指標の一つである洪水被害額について、その原単位の不確かさと変更したことによるシミュレーション結果に与える影響について検討している。

4. 5では、本章で得られた知見をまとめている。

4. 1 シミュレーションモデルの標準設定

ここでは、以降のシミュレーションの結果を用いて評価を行ううえで、その相対的評価の基準となるパラメーター群の標準設定についてその詳細を説明し、その設定を用いたシミュレーション結果の再現性について検討する。

4. 1. 1 パラメーター群の標準設定

ここでは、表3-6に示したシミュレーションで用いられるパラメーター群のうち、既存の統計データ等から確定できるか、あるいはその他の理由でその不確かさの範囲を設定しないパラメーターについて、その出典、もしくは算出方法を説明する。不確かさの範囲を設定するパラメーターについては後節でその出典や算出方法について詳しく説明する。また、各パラメーターの標準設定値は付録に示す。なお、複数年にわたってデータが存在するパラメーターについては1990年、もしくはこれに最も近い年のデータを用いることとする。

[各小流域人口・土地利用・家畜飼育頭数]

各県統計年鑑¹⁾ 2) 3) 4) の市町村ごとのデータを小流域ごとに分割して算出する。土地利用や家畜飼育頭数が、市町村単位で得られない場合は推定により算出する。

[各小流域製造業出荷額]

工業統計⁵⁾ の市町村ごとのデータを小流域ごとに分割して算出する。

[各上水道事業体有効給水率]

水道統計⁶⁾ から、以下の式を用いて算出する。

$$\text{有効給水率} = \text{有効水量} / (\text{総取水量} - \text{分水量}) \quad (4.1)$$

[各上水道事業体水源別取水可能量・他の事業体との送受水可能量]

水道統計⁶⁾ の計画取水量、計画送水量のデータを用いる。

[各上水道事業体水源別計画取水量]

水道統計⁶⁾ の水源別の年間取水量のデータを用いる。

[人口当たり水使用量・各上水道事業体水使用量調整量]

一人一日当たり水使用量を 200 l とし、(4.2) 式を満たすように水使用量調整量を設定する。有効水量と給水人口は水道統計⁶⁾ による。

$$\begin{aligned} \text{有効水量} &= \text{一人一日当たり水使用量} \times \text{給水人口} + \text{製造業の上水道からの計画取水量} \\ &\quad + \text{水使用量調整量} \end{aligned} \quad (4.2)$$

[各下水処理場地下水/汚水比率・場外再利用先と再利用量]

下水道統計⁷⁾ のデータを用いる。

[各小流域・各上水道事業体下水処理人口]

下水道統計⁷⁾ の処理人口のデータを各小流域、各上水道事業体に分割して算出する。

[製造業系排水の下水処理比率]

下水道統計⁷⁾ の各処理場における製造業排水の流入水量全体に対する比率のデータを参考にして算出する。

[各ダム利水容量・死水容量]

多目的ダム管理年報⁸⁾ のデータを用いる。

[各ダムの初期条件]

ダムの初期条件として水量は各ダムが利水容量に対して満水状態にあるとする。

[河川水質基準]

BOD についてのみ、各地点において該当する環境基準を用いる。

4. 1. 2 ダム群運用の標準設定

ダム群の運用方法については 3. 2. 3 でも簡単に触れたが、全てのダムの貯水量や栗橋地点の基準流量、その他の条件を考慮しながら、各ダムの放流量を決定するという統合管理が実際に行われており、シミュレーションの標準設定にもこれを取り入れる。

具体的には、まず各小流域からの自然発生流量の予測を行い、各ダムの集水域における自然発生流量から蒸発散量を引いたものを各ダムの貯水量に加えて予想貯水量とし、残流域の自然発生流量から蒸発散量を引いたものは足し合わせて残流域発生流量とする。次に、各ダムにおいてパラメーターとして設定されている責任放流量の分を予想貯水量から差し引いて、各ダムの計画放流量とする。この操作の後でもなお、予想貯水量が利水容量を超えている場合はその超過分を各ダムの計画放流量に加え、予想貯水量を利水容量と同じ量にする。最後に、各ダムの計画放流量と残流域発生流量の和がパラメーターとして設定されているダム群の目標放流量に越えない場合は、これを放流不足水量としてさらに各ダムから下に述べるルールにしたがって放流不足水量の分だけ追加放流を行うようにする。

ここで、自然発生流量の予測値にはシミュレーションで用いる自然発生流量系列をそのまま用いる。つまり、各流域からの自然発生流量は完全に予測できるものとしている。

また追加放流のルールについては、まず責任放流量が設定されていないダムについて各ダムの貯水量比を求め、その比に応じて放流不足水量を各ダムに割り当てて追加放流を行う。責任放流量が設定されていないダムが空になってこの操作の後でも計画放流量の和が目標放流量を満たさない場合は、責任放流量が設定されているダムからも貯水量比に応じて放流を行う。なお、栗橋地点に対して河川の流路上直列の位置関係にあるダム群については、以上に述べた操作を直列ダム群としてひとまとめにして行う。

4. 1. 3 標準設定を用いたシミュレーションの再現性の検討

標準設定によるシミュレーションの結果について実際の状況が再現されているかを検討する。なお、標準設定におけるシミュレーション結果を以降では"Standard"と略すことにする。

(1) 水需要量と発生負荷量

まず、標準設定による対象流域内の水需要量について検討する。

水需要は年30.4億トンで、内訳は図4-1に示すように農業系が3分の2強を占めている。農業系の水需要のピーク時は、水需要は冬季の4倍強の197トン/秒となり、また農業系の比率は85%と水需要の

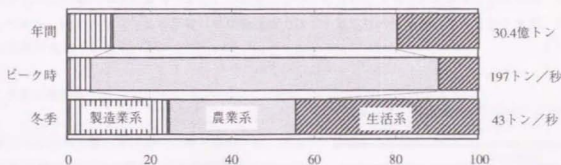


図4-1 標準設定での水需要量の用途別比率

大部分を占めることになる。よって、対象流域内では農業系の水利用が全体に与える影響は非常に大きくなるものと考えられる。

発生負荷量は、年間でBOD約8.6万トン、COD約6.6万トン、TN約2.6万トン、TP約3千トンで、その内訳を図4-2に示す。BODやCODは下水道以外の生活系が大きく、このほか、水田、山林、市街地、畜産などが大きくなっている。TNは、下水道、下水道以外の生活系、畜産、畑地などが大きくなっ

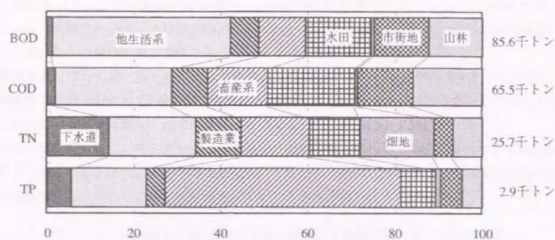


図4-2 標準設定における発生負荷量の内訳 (%)

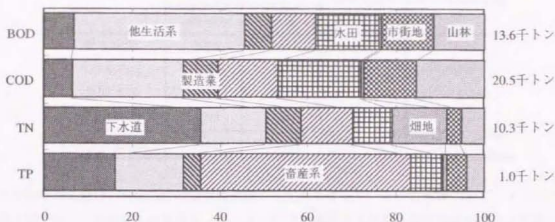


図4-3 標準設定における本川到達負荷量の内訳 (%)

ており、TPでは畜産が50%以上を占め、その他では下水道以外の生活系の負荷が大きい。ただし、これは流速率を考慮に入れていないので、これに流速率を掛けた本川への到達負荷量を図4-3に示す。

総量では、BODで発生負荷量の約19%、CODは約31%、TNは約40%、TPは約35%となっており、下水道のみが本川へ直接放流するという設定になっているので下水道の比率が全体的に高くなっている。これから、河川水質に与える影響は有機物指標では下水道以外の生活系、TNでは下水道、TPでは畜産系が特に大きくなっている。

(2) 水量の再現性

まず、年単位の水量の再現性について検討する。表4-1に対象流域全体の用途ごとの平均年間取水量や下水処理水量、地下水収支について、Standardの値を示す。また上水道取水量については1990年の水道統計⁶⁾のデータを、下水処理水量については下水道統計⁷⁾から晴天日下水量の年間水量を算出して、実測として示す。

日本の水資源⁹⁾より、関東地方全体の年間の水使用量(1988年)は取水量ベースで164億トンで、その内訳は生

表4-1 対象流域全体における平均水量 (万トン/年)

	Standard	実測
上水道取水量	56975	57635
他生活系取水量	3055	-----
製造業系取水量	33470	-----
農業系取水量	203176	-----
下水処理水量	11994	14680
地下水収支	-6584	-----

活用水が約50億トン、製造業系が約25億トン、農業系が約90億トンとなっている。対象流域が関東地方全体に対して面積で約25%、人口で10%弱となっていることを考えると、上で述べた水使用量に対して表4-1のStandardの値は妥当な数値になっているものと考えられる。

上水道取水量については、渇水時に取水量が少なくなる分だけStandardが実測より少なくなっている。下水処理水量ではStandardが1.2億トンで実測の1.4億トンより少なくなっているが、これは下水処理場におけるし尿の投入などを考慮に入れていないためである。

表4-2には、岩本地点、八斗島地点、栗橋地点の河川流量と利根導水路導水量についてStandardの年間指標のうちいくつかを示す。平均年間流量については1978～87年の実測値を、栗橋地点流量の渇水年確率と年平均渇水日数については最下流基準水量に対する評価指標を併せて示す。

表4-2 Standardにおける河川流量と利根導水路導水量に関する年間指標

	平均年間流量(百万トン)		渇水年確率 (%)	年平均渇水日数 (日)
	Standard	実測		
岩本地点	2738	2624	38.3	7.7
八斗島地点	5222	5089	47.9	10.3
栗橋地点	7125	6538	46.3 (91.5)	15.3 (58.4)
利根導水路	1693	1823	97.2	129.7
年間自然発生流量	14942	14375		

河川の平均年間流量は、Standardの方が実測値より大きくなっている。これは3、3、4で述べたように、標準設定で用いた自然発生流量系列(C-1)の方が実測より平均年間自然発生流量が大きいためである。利根導水路の年間平均導水量はStandardの方が小さくなっているが、これは自然発生流量系列の半旬単位の分散が実測値より大きいため、パラメーターとして設定した導水量を取水できない状況が多くなったためであろう。

渇水年確率や年平均渇水日数に注目すると、河川流量が維持流量より少なくなる状態が起こる年が30～50%、その時の平均日数は20日以下となっている。しかし、維持流量はかなり小さく設定しているため、実測値では維持流量より河川流量が少なくなる年はない。これも自然発生流量系列の半旬単位の分散が実測値より大きいために極端に河川流量が少なくなる半旬が生じることによるのであろう。一方、利根導水路の導水量や栗橋地点流量の最下流基準流量に対する渇水年確率は90%を越えており、ほとんど毎年渇水状態が起こっていることになる。実測に対して標準設定の導水量や基準流量を用いて渇水年確率を算出すると、利根導水路、栗橋流量とも100%となり、また年平均渇水日数も利根導水路が184日、栗橋地点流量では34日となることから、これらの値に関しては実際の値とそれほどかけ離れた値にはなっていないと考えられる。

渇水流量や低水流量、平水流量、洪水流量について、Standardの値と流量年表による実測値(岩本地点は1955～1992年、八斗島地点は1951～1992年、栗橋地点は1938～1992年の平均)を表4-3に示す。これにも自然発生流量系列の半旬単位の分散が大きいことによる影響がはっきりとでており、Standardの方が渇水流量は低く、そして豊水流量は高くなっている。

次に栗橋地点の半旬流量と利根導水路の半旬導水量に関する指標について検討する。図4-4に栗橋地点の半旬流量について、Standardの平均半旬流量と不足確率、1978～87年の実測流量の平均値、Standardにおける半旬ごとの基準流量を示す。平均流量に関しては、Standardにおいて実測データの傾向がある程

表4-3 各種流量に関する年間指標 (トン/秒)

		渇水流量	低水流量	平水流量	豊水流量
岩本地点	Standard	16.41	42.84	69.58	120.82
	実測	33.57	48.70	66.05	107.00
八斗島地点	Standard	39.10	84.92	133.44	210.53
	実測	67.98	90.83	124.04	186.72
栗橋地点	Standard	43.24	83.40	145.25	289.36
	実測	77.67	110.86	162.33	261.63

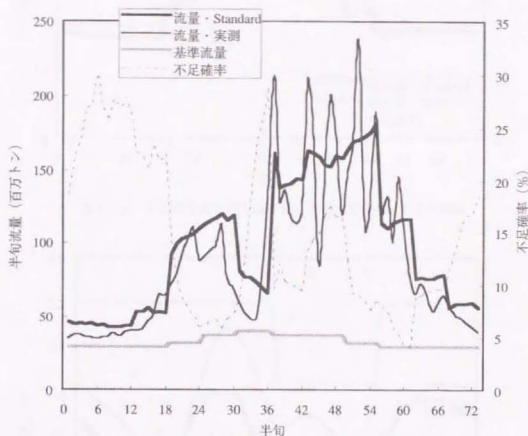


図4-4 栗橋地点の半月流量の比較と標準設定の不足確率

度再現できている。不足確率の最大のピークは1～3月にあり、6月後半～8月も多少高くなっている。1～3月にピークがでてる理由には、冬季の流出量が少ないことの他に、自然発生流量系列を作成するときに用いる自己相関係数が冬季において高く、自然発生流量が少ない状態が続くことも挙げられる。

利根導水路の半月導水量について、図4-5にStandardの平均半月導水量と不足確率、1978～87年の実測導水流量の平均値を示す。不足確率は栗橋地点流量と違い1～3月よりも6～9月で大きなピークとなっている。この理由として考えられるのは、導水量の方が栗橋地点の基準流量と比べて夏季と冬季の差が大きいことや栗橋地点で合流する渡良瀬川流域における夏季の発生流量が大きいことなどである。

貯水量に関して、Standardにおける6ダムの平均貯水量の推移と実際の平均貯水量の推移を図4-6に示す。変化の傾向は似ているもののStandardの平均貯水量は実際の貯水量より低くなっている。これも自然発生流量系列の各半月の分散が実際より大きいことによるものであると考えられる。

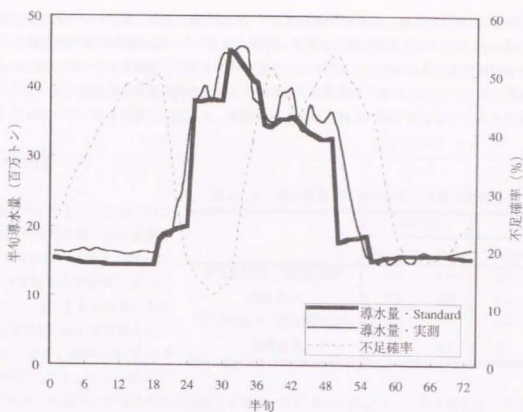


図4-5 利根導水路の半旬導水量の比較と標準設定の不足確率

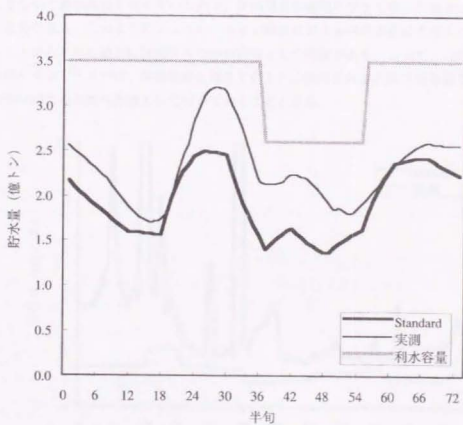


図4-6 貯水量の推移

最後に渇水被害額については、対象流域内については生活系が55億円、製造業系が0.2億円、農業系が90億円でその他に利根導水路導水量について2474億円、栗橋地点の基準流量に対して2559億円となっている。これらの値については実測値というものが存在しないのでここで求められた値が適切なものであるか判断はできないが、自然発流量系列の分散が半旬単位では実際より大きくなっており、渇水状態が起こりやすくなっていることを考慮に入ると、実際の被害額はこれらの値より小さいものと考えられる。

(3) 水質の再現性

河川4地点のBOD、CODについて、Standardの平均水質と河川水質年鑑¹⁰⁾のデータを用いて算出した1973～1992年の平均水質を表4-4に示す。BOD、CODとも上流部にあたる坂東合口堰でStandardは実測より小さくなっているが、他の3地点ではStandardの方が大きくなっている。

表4-4 河川各地点における平均水質の比較 (mg/Q)

	BOD		COD	
	Standard	実測	Standard	実測
坂東合口堰 (群馬大橋)	0.5	1.0	0.9	2.6
高松地点	7.2	2.6	10.6	5.2
早川田地点 (渡良瀬大橋)	6.2	3.0	9.4	5.3
栗橋地点	3.7	1.5	5.5	3.1

栗橋地点のBODについては半旬ごとの変化を図4-7に示す。実測は、河川水質年鑑のデータから算出された各月の平均水質である。StandardのBODは例えば3月初旬や5月下旬などで他と比べて非常に高い値となることがある。これはシミュレーションモデルの構造上の問題で、蒸発散量を考えるときに河川流量からまとめて蒸発散量を引いているので、河川流量が極端に少なくなった場合に水質が非常に悪化してしまうためである。このようにシミュレーション結果における平均水質はこのような異常値の影響を受けていることからそれを適切に評価するための指標として問題がある。よって、以降のシミュレーション結果を評価していくうえでは、環境基準を適用するときに採用される水質の75%値や水質基準の超過確率を河川水質に関する主要な指標として用いていくこととする。

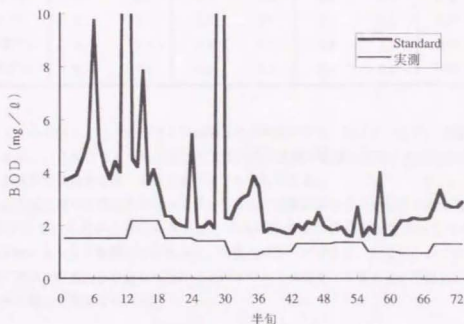


図4-7 栗橋地点のBOD変化

そこで、4項目の75%値とBODの超過確率、1980～1989年のBOD 75%値の実測値の範囲を表4-5に示す。BODの75%値についてStandardと実測を比較すると、板東合口堰ではStandardは低く、逆に栗橋地点では高くなっており、利根川本川上では実測とのずれがある。一方、支流にある高松地点や早川田地点ではStandardは実測の範囲内で、実際の状況がある程度再現されていると考えられる。

表4-5 河川各地点における水質75%値 (mg/Q) と超過確率 (%)

	BOD		COD	TN	TP	実測BOD
	75%値	超過確率	75%値	75%値	75%値	75%値
板東合口堰 (群馬大橋)	0.6	1.1	1.0	0.5	0.04	0.8～1.3
高松地点	3.7	44.8	5.5	2.0	0.28	2.2～4.7
早川田地点 (渡良瀬大橋)	3.7	32.5	5.6	3.5	0.29	2.9～4.2
栗橋地点	3.1	48.8	4.6	2.3	0.23	1.1～1.9

各ダムのBOD、COD、TN、TPについて、Standardの平均水質と河川水質年鑑のデータを用いて算出した1978～1992年の平均水質を表4-6に示す。どの水質項目についてもStandardの値の方が小さくなっている。この理由としては、ダム内で生物等による水質変化を考慮に入っていないことやダムの集水域が主に山間部であることから山林などからの排出負荷を小さく見積もっていることなどが考えられる。

表4-6 各ダムにおける平均水質の比較 (mg/Q)

	BOD		COD		TN		TP	
	Standard	実測	Standard	実測	Standard	実測	Standard	実測
矢木沢ダム	0.1	0.9	0.2	2.0	0.0	0.2	0.00	0.01
藤原ダム	0.3	0.8	0.5	1.8	0.1	0.3	0.01	0.02
相模ダム	0.3	0.9	0.5	1.4	0.1	0.5	0.01	0.02
蘭原ダム	0.8	1.4	1.5	2.1	0.5	0.6	0.03	0.03
下久保ダム	0.7	1.2	1.3	2.1	0.3	1.3	0.02	0.02
草木ダム	0.3	0.8	0.6	1.4	0.1	0.6	0.01	0.02

また、河川とダムの両方から上流部ではStandardの方が値が小さくなっているが、下流部では逆に大きくなる傾向にある。この原因として前に述べたように河川流量が極端に少なくなったときの影響の他に、河川における水質浄化機能を考慮に入れていないことも考えられる。

以上、水量と水質に関する再現性についてまとめると、水量に関しては年単位で考えると実際の状況はある程度再現できているものと考えられるが、半旬単位では自然発生流量系列自体が持つ問題点がStandardの再現性にも大きな影響を与えており、問題点は多いと言える。水質についてはダム内での水質変化や河川流下時の水質変化を考慮していないことにより、上流部では水質を過小評価し、下流部では過大評価するといった傾向が見受けられる。

4. 2 水量に関する設定についての考察

本節では、水量に関する設定として、自然発生流量系列や既存の統計等から確定できないパラメーター群、ダム群の運用方法について、その標準設定を定めるためのデータの出典や算出方法を説明し、その値の不確かさの範囲とシミュレーション結果に与える影響について検討する。

4. 2. 1 自然発生流量系列の与える影響

自然発生流量系列の再現性については3. 3. 4で検討を行っているので、ここでは各系列の違いがシミュレーションに与える影響について考察する。表3-13に示した条件で作成された自然発生流量系列のうち、標準設定としてC-1を用いることとしている。よって、

Run1: A-1 (自己・相互相関を無視、代表流域=草木流域)を用いる、

Run2: B-1 (相互相関のみ考慮、代表流域=草木流域)を用いる、

Run3: C-2 (自己・相互相関を考慮、代表流域=草木流域)を用いる、

Run4: C-3 (自己・相互相関を考慮、代表流域=草木流域)を用いる、

Run5: D-1 (自己・相互相関を考慮、代表流域=乙女流域)を用いる、

Run6: E-1 (自己・相互相関を考慮、代表流域=下久保流域)を用いる、

という6条件でシミュレーションを行って、Standardとの比較を行う。

表4-7に評価指標の一部についてStandardとの差を、用いられている各自然発生流量系列の年間流量の標準偏差のC-1との差と併せて示す。

相互相関性や自己相関性を考慮しない自然発生流量系列A-1やB-1を用いた場合については、標準設定のC-1と比べて標準偏差が小さくなっているため、それに合わせて洪水被害や洪水被害額は小さく

表4-7 自然発生流量系列の違いによる各評価指標の変化

		Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6
標準偏差 (百万トン)		-1286	-758	-71	-92	212	106
洪水被害 (%・日)	流域内生活系	-273	-73	17	24	24	22
	流域内製造業系	-36	-22	4	4	10	9
	流域内農業系	-349	-101	28	39	56	40
	最下流地点	-1834	-843	117	189	336	245
	利根導水路	-3044	-756	202	289	291	331
洪水被害額 (億円/年)	流域内	-140	-59	11	20	36	24
	最下流地点	-2559	-1952	338	334	693	385
	利根導水路	-2326	-1705	472	524	745	998
	総被害額	-5024	-3717	821	878	1471	1406
地下水収支 (百万トン/年)		-60	-9	3	5	6	4
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		26.11	-1.63	-0.96	-1.48	-2.85	-0.31
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		-0.68	0.03	0.02	0.04	0.06	0.01

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

なっている。栗橋地点の低水流量についてはRun1やRun2ではStandardと比べて標準偏差が小さい分大きくなるものと予想されたが、Run2ではStandardよりやや小さくなっている。この理由としては、B-1でも相互相関性は考慮されているので半旬単位の発生流量のばらつきではB-1とC-1に差がないためであろう。よって、被害額などでは自己相関性を考慮することにより流量が少ない状態が続きやすくなっているC-1よりB-1の方が大幅に小さくなるが、低水流量ではB-1とC-1で差がなくなってしまうであろう。栗橋地点の水質についても低水流量の変動と同じようにA-1では変化が大きいが、B-1ではほとんど変化していない。

Standardで用いられているC-1と同一条件で作成されたC-2、C-3の標準偏差はC-1より小さくなっているが、渇水被害では逆に大きくなっている。これは、C-1と比べてC-2、C-3の方に非常に被害の大きい渇水の年があるためであると考えられる。

乱数自体のばらつきによる自然発生流量系列の分散と相互相関性の代表流域の違いによる分散では明らかな差があることは3.3.4で述べているが、シミュレーション結果に与えている影響では渇水被害額などでは明らかな差が見受けられる。しかし、地下水取支、栗橋地点低水流量といった指標ではRun3、Run4とRun5、Run6では差は見受けられない。

これらより、渇水被害や被害額は自然発生流量系列の標準偏差と同様の変化を示しているが、地下水取支や低水流量では必ずしも自然発生流量系列と同様の変化はしていないようである。

4.2.2 水量に関するパラメーター群の不確かさが与える影響

ここでは、既存の統計データや研究例から確定できないパラメーターとして、生活系・製造業系・農業系の水利利用原単位、利根導水路導水量、計画取水量と取水可能量、河川維持流量について、不確かさの範囲を仮定し、そのシミュレーション結果に与える影響を検討する。

(1) 生活系水利利用に関する原単位

生活系水利利用の水量に関する原単位には、人口当たり水使用量と消失率がある。人口当たり水使用量の原単位については、4.1.1で述べたように200ℓと設定し、その不確かさの範囲については検討を行わない。この理由は、上水道においては(4.2)式で有効水量を算出するわけであるが、この有効水量は水道統計の実測値と合うように水使用量調整量を設定しているため、生活系水利利用量は実測データから確定できると考えているためである。

生活系水利利用における消失率には普通、大気への蒸発と地下への浸透が考えられるが、このシミュレーションでは流域からの蒸発散をまとめて取り扱っているので、ここでの消失率は地下への浸透量と考えられる。この浸透量については散水や各個における水道管からの漏水などが主であるので、各個人の生活形態によってかなり変化するものと考えられる。ここでは水使用量の5%を標準設定とし、その不確かさの範囲として0~10%を見込み、

Run7:生活系消失率を0%とする、

Run8:生活系消失率を10%とする、

という2条件でシミュレーションを行う。

表4-8に評価指標の一部についてStandardとの差を示す。消失率を小さくすると地下水涵養量が小さくなって河川流量が増加するので渇水被害は全般的に小さくなり、低水流量は増加する傾向にある。渇水

被害、被害額とも Standard に比べると Run7 では 1～2% の減少で Run4-8 では 1～2% の増加となっている。

(2) 製造業系水利用に関する原単位

製造業系水利用の原単位には、出荷額当たり水使用量、場内リサイクル率、消失率の3つが考えられている。製造業においては業種間で水使用の実状がかなり異なっており、「流域別下水道整備総合計画調査・指針と解説」¹⁰⁾（以降、「流総調査」と略す。）では、工業統計表¹¹⁾より小分類ごとに出荷額当たりの排水量原単位を算出している。しかし、小分類ごとでは出荷額等のデータが十分ではないので、本シミュレーションではこれらの業種間の分類をせずに製造業全体で原単位を考えることにする。

流総調査の小分類ごとの排水量原単位から各分類の製造業出荷額を用いて製造業全体の排水量原単位を算出すると 138 (ℓ/百万円/日) となり、またリサイクル率は全国平均で 70% 強である。よってこれから水使用量の原単位を求めると 400 (ℓ/百万円/日) 以上となる。しかし、対象流域には紙・パルプなど淡水を多量に必要とする製造業は比較的小さいので、この値を用いると実際より水使用量が多くなると考えられる。

そこで、工業統計表の工業地域ごとの用水使用量から対象流域全体の用水使用量を推定すると、淡水使用量が一日当たり約 262 万トンでそのうち回収水が約 65% にあたる 169 万トンを占めている。一方、対象流域全体の製造業出荷額は約 13 兆円と推定されるのでこれらの値から出荷額当たり水使用量は 206 (ℓ/百万円/日)、リサイクル率は 65% と算出される。本シミュレーションではこれらの値を標準設定とし、その不確実な範囲として水使用量は ±10% として 185～227 (ℓ/百万円/日) の範囲について、リサイクル率は 60～70% の範囲について検討する。

また、消失率については生活系の場合と同様に地下への浸透量を考えており、標準設定として水使用量の 5% とし、その不確実な範囲として 0～10% の範囲について検討する。

まとめると以下のような条件でシミュレーションを行う。

Run9: 製造業出荷額当たり水使用量を 185 (ℓ/百万円/日) とする、

Run10: 製造業出荷額当たり水使用量を 227 (ℓ/百万円/日) とする、

Run11: 製造業場内リサイクル率を 60% とする、

Run12: 製造業場内リサイクル率を 70% とする、

Run13: 製造業消失率を 0% とする、

Run14: 製造業消失率を 10% とする、

なお、Run9～Run12 については原単位の変更により水需要量に変化することになる。このシミュレーションモデルでは、水需要量に応じて水源別に計画取水量をあらかじめ設定するようになっているので、

表4-8 生活系水利用原単位の不確実さによる各評価指標の変化

		Run7	Run8
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-4	3
	流域内製造業系	-1	0
	流域内農業系	-5	4
	最下流地点	-32	34
	利根導水路	-41	40
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-2	2
	最下流地点	-58	60
	利根導水路	-55	53
	総被害額	-115	114
地下水収支 (百万トン/年)		18	-18
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		0.26	-0.30
栗橋 BOD75% 値 (mg/ℓ)		0.00	0.00

※ 各値は Standard との差を表しており、マイナスは Standard より小さいことを表している。

表4-9 製造業系水利用原単位の不確実さによる各評価指標と年間取水量の変化

		Run9	Run10	Run11	Run12	Run13	Run14
平均取水量 (百万トン/年)		-34	31	48	-48	0	0
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	3	-4	-7	6	-8	8
	流域内製造業系	-5	-2	-5	26	-1	1
	流域内農業系	3	-4	-8	7	-10	9
	最下流地点	41	-42	-74	80	-89	94
	利根導水路	37	-41	-73	75	-93	96
渇水被害額 (億円/年)	流域内	2	-2	-3	4	-4	5
	最下流地点	75	-77	-134	141	-156	164
	利根導水路	47	-55	-96	102	-120	130
	総被害額	123	-134	-233	247	-280	299
地下水取支 (百万トン/年)		-19	21	37	-38	47	-47
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-0.37	0.36	0.70	-0.72	0.85	-0.82
栗橋BOD75%値 (mg/Q)		-0.01	0.01	0.02	-0.02	0.02	-0.02

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

この計画取水量も変更することになる。製造業系の水利用の水源は、上水道、河川、自然発生流量、地下水の4種類が考えられているが、ここではなるべく河川あるいは自然発生流量からの計画取水量を変更することにより水需要量の変化に対応するようにしている。また、取水可能量について詳しくは後述するが、標準設定では取水可能量のデータが得られていない場合計画取水量の1.2倍を取水可能量としているので、計画取水量の変更にもなって取水可能量も変更している。

表4-9に評価指標の一部についてStandardとの差を、製造業系の年間平均取水量の差と併せて示す。取水量の変化は、水使用量原単位の±10%の範囲よりもリサイクル率の±5%の範囲の方が大きくなる。そして、製造業に関しては取水量を多く見積もったRun10やRun11の方が渇水被害が緩和される傾向にある。この理由としては、製造業系取水は地下水から取水する比率が高いため、表流水が不足しているときには地下水における取水可能量と計画取水量の差分の水量を用いて被害を少なくするようになっていること、また取水量増加に伴う地下水取水量の増加により河川流量が安定することが考えられる。

消失率の変化の影響について生活系消失率による変化と比較すると、地下水取支の変化が大きくなる分だけ渇水被害の変化も大きくなっている。

(3) 農業系水利用に関する原単位

農業系水利用に関する原単位は、水田と畑地についてそれぞれ面積当たり水使用量と消失率が考えられている。

まず畑地についてであるが、河川から取水して水を供給していることが少なく、また排水も地表面を流れず地下へ浸透しているので、取水は全量地下水から行い、100%消失して地下水へ還元するとして、シミュレーション結果に影響がないようにしている。

水田の水量原単位については、流域調査¹¹⁾ においてある水田において水収支を2年間調査しており、これによると灌漑期総使用水量が1260 (mm) と1450 (mm)、蒸発散量も含めた消失率が40%前後になっている。また岡本ら¹²⁾ は1975～1979年に日本全国1783地区で農林水産省が行った調査結果を用いて水田の水使用原単位について検討している。これによると原単位にはかなりのばらつきがあるが、ピーク時に平均で31.9 (mm/日)、最頻値で20.6 (mm/日) となっている。ただし、岡本らも述べているがこの原単位は地域ごとでまた年によっても変動があり、どの値が最適かは判断が難しい。

ここでは水使用量原単位についてはピーク時に20 (mm/日)、灌漑期の総使用水量として2480 (mm)、消失率は灌漑期一律35%をStandardとする。そして、その不確実な範囲として

Run15: 水田面積当たり水使用量をピーク時に15 (mm/日)、総使用水量として1300 (mm) となるようにする、

Run16: 水田面積当たり水使用量をピーク時に30 (mm/日)、総使用水量として3000 (mm) となるようにする、

Run17: 水田消失率を灌漑期一律25%とする、

Run18: 水田消失率を灌漑期一律40%とする、

という4条件でシミュレーションを行う。なお、Run15、Run16については原単位の変更により水需要量に変化するが、計画取水量のうち取水権量が既知である水源からのものはなるべく変更せずにその他の水源からの計画取水量を変更させることによりこの変化に対応する。また、製造業系水利用原単位の時と同じように計画取水量の変更にとまって取水権量が既知でない水源の取水可能量も変更している。

表4-10に評価指標の一部についてStandardとの差を、農業系の年間平均取水量の差と併せて示す。渇水被害や被害額では水使用量を少なく見積もった方が明らかに小さくなるが、地下水収支では逆に水使用が少ないと涵養量が減り、地下水収支が悪化している。一方、水田からの消失率についても低く見積もっ

表4-10 農業系水利用原単位の不確実さによる各評価指標と年間取水量の変化

		Run15	Run16	Run17	Run18
平均取水量 (百万トン/年)		-652	298	8	-4
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-29	17	-19	9
	流域内製造業系	-6	3	-3	1
	流域内農業系	-207	17	-45	23
	最下流地点	-184	141	-158	85
	利根導水路	-280	210	-200	103
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-67	62	-15	8
	最下流地点	-292	209	-221	119
	利根導水路	-210	187	-174	91
	総被害額	-569	457	-411	218
地下水収支 (百万トン/年)		213	-99	139	-69
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		1.42	-0.54	1.46	-0.68
栗橋BOD75%値 (mg/l)		0.05	0.00	-0.04	0.02

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

たほうが河川へ戻る量が多くなることにより洪水被害や被害額は小さくなる。Run15とRun17の洪水被害を比較すると、その被害の減少傾向として流域内農業系についてはRun15ではかなり被害が減少しているが、Run17ではRun15と比較すると減少量は少ない。これは水使用量の減少は対象流域全体に効くに対して、消失率の減少は下流部の方により効果を発揮することによるもので、それが実際の指標に反映している。

(4) 利根導水路導水量

1978～87年の利根大堰から対象流域外への年間取水量は平均で約18.2億トンである。この期間に取水制限等により取水量が少なくなっている年があることを考えると標準的な年間取水量は18.2億トンより若干多い程度ではないかと考えられる。よって、実測データを参考に標準設定を表3-18のように定める。この時年間取水量は18.6億トンになっている。そして、その不確実な範囲としてRun19:導水量を用途ごとに10%ずつ減らす、Run20:導水量を用途ごとに10%ずつ増やす、という2条件でシミュレーションを行う。

表4-11に評価指標の一部についてStandardとの差を、平均導水量の差と併せて示す。利根導水路の導水量の増減は、洪水被害には影響を与えているが、地下水収支にはあまり影響を与えていない。洪水被害についても対象流域内にはそれほど影響を与えず、最下流地点や利根導水路自身の被害に影響を与えている。栗橋地点の低水流量への影響も大きいですが、水質にはあまり影響を与えないようである。

表4-11 利根導水路導水量の不確実さによる各評価指標と平均導水量の変化

		Run19	Run20
平均導水量 (百万トン/年)		-152	148
洪水被害 (%・日)	流域内生活系	-27	27
	流域内製造業系	-4	3
	流域内農業系	-42	43
	最下流地点	-247	265
	利根導水路	-344	356
洪水被害額 (億円/年)	流域内	-13	13
	最下流地点	-355	381
	利根導水路	-505	615
	総被害額	-873	1009
地下水収支 (百万トン/年)		-6	6
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		2.80	-2.58
栗橋BOD75値 (mg/ℓ)		0.00	0.00

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

(5) 用途別・水源別計画取水量と取水可能量

このシミュレーションモデルでは、前にも述べたが各用途ごとに水需要量に対してそれに見合うように計画取水量を水源別に設定している。上水道については水道統計のデータを用いて水源別の計画取水量を確定できるが、上水道以外については小流域単位での用途別の取水実績や取水権量についてはほとんどデータがないので、既存のさまざまな資料から推定して、用途別・水源別計画取水量や取水可能量を算出する必要がある。

まず、これらの値の標準設定について説明する。製造業系については、工業統計表¹⁰⁾に工業地域ごとに上水道や地表水・地下水といった水源別の取水量が示されている。この取水量を参考に小流域ごとに水源ごとの取水比率を決定し、それを用いて水需要量全体から水源別の計画取水量を決定する。農業系については、畑地用水は全量地下水から、水田用水は全量地下水以外から取水するように設定しており、河川の

取水堰からの取水量については3. 1で示したように取水権量が既知の堰についてはその取水権量を用い、その取水権量の範囲で計画取水量を設定する。水田用水において取水権量が既知の取水堰以外から取水が行われている場合は取水地点の流量やそのまわりの状況から妥当と思われる値を選択している。上水道以外の生活系についてはその小流域における上水道事業者の取水内訳を参考に表流水と地下水の水源別の取水量を設定している。各取水可能量については、取水権量が既知の取水堰からの取水以外は計画取水量の1.2倍とする。

以上に述べた標準設定の不確かさの範囲として、

Run21：製造業の計画取水量について標準設定から地下水取水量を10%減らしてそれを地表水からの取水にまわす、

Run22：製造業の計画取水量について標準設定から河川及び自然発生流量からの取水量を10%減らしてそれを地下水からの取水にまわす、

Run23：農業系の計画取水量について河川からの取水量を10%減らし、それを各小流域の自然発生流量からの取水とする、

Run24：地下水取水可能量を上水道以外の全ての用途で計画取水量の1.1倍とする、

Run25：地下水取水可能量を上水道以外の全ての用途で計画取水量の1.3倍とする、

Run26：表流水からの取水可能量を上水道と取水権量が既知の取水堰からの取水以外について計画取水量の1.1倍とする、

Run27：表流水からの取水可能量を上水道と取水権量が既知の取水堰からの取水以外について計画取水量の1.3倍とする、

という7つの条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-12に評価指標の一部についてStandardとの差を示す。製造業の計画取水量の不確かさは、地下水から地表水への変更の方が逆の変更にくらべて各指標の変化が大きい。これは、Standardの製造業系湯水被害が46(％・日)と小さく利水状態が安定しているの、これ以上地下水からの取水を増やしてもそれは

表4-12 用途別・水源別計画取水量と取水可能量の不確かさによる各評価指標の変化

		Run21	Run22	Run23	Run24	Run25	Run26	Run27
湯水被害 (％・日)	流域内生活系	3	-1	0	6	0	0	0
	流域内製造業系	148	-15	0	209	-26	10	-2
	流域内農業系	5	-2	-3	61	-54	14	-13
	最下流地点	37	-12	-1	26	-14	-4	4
	利根導水路	40	-16	-1	7	-5	-1	0
湯水被害額 (億円/年)	流域内	2	-1	1	8	-7	3	-3
	最下流地点	72	-23	-1	28	-13	-4	4
	利根導水路	51	-26	-1	35	-19	-1	2
	総被害額	125	-50	-2	71	-39	-2	2
地下水収支 (百万トン/年)		-19	7	0	-8	5	1	-1
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-0.31	0.10	0.09	-0.15	0.07	0.02	-0.02
栗橋BOD75値 (mg/ℓ)		0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

と安定性が高まることはないが、逆に地下水からの取水を減らすと安定的な水源への依存率が低くなるので安定性が低くなり、各指標が悪化するであろう。

一方、農業系の計画取水量の不確実さは10%程度の範囲ならほとんど影響を与えていない。これは河川から自然発生流量に取水量を変更しただけで、河川、自然発生流量とも不安定な水源なので渇水時の状況はあまり変わらず、渇水被害などの評価指標にはあまり影響を与えていないのである。

上水道事業体以外の地下水取水可能量の不確実さは特に流域内製造業系に大きな影響を与えている。これは製造業の地下水への依存率が高いことによる。一方、地下水収支への影響は小さくなっている。これは地下水取水量が減ったことにより河川流量が減り、その影響で農業系などの地下水涵養量も減るので、結局地下水収支の変化は小さくなる、などの理由が考えられる。

表流水取水可能量の不確実さについては、表流水は不安定な水源で、しかも相互相関性によりある水源で水量が不足している場合別の水源でも不足していることが多いので、取水可能量を変動させてもあまり影響がでないものと考えられる。

(6) 河川維持流量

河川維持流量とは、下流部での取水権量を考慮した基準流量ではなく、水生生物の保全などの機能が損なわれない流量のことで、その機能の捉え方や河川の形状などによって大きく値が変わるものである。実際に利根川水系でどの程度の値に設定すればよいかは定かではないので、ここでは上流部(0.5トン/秒)から下流部(15トン/秒)へと徐々に大きくなるようにしたものを標準設定とし、その不確実さの範囲として、

Run28: 標準設定から20%ずつ少なくする、

Run29: 標準設定から20%ずつ多くする、

という2条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-13に、評価指標の一部についてStandardとの差を示す。特徴的なのは最下流地点に関する使用とそれ以外のものについて渇水被害の変化の方向が違うことである。維持流量を少なくすると対象流域内で取水できる量が増えるので流域内の渇水被害は軽減されるが、逆に最下流の流量は不安定になり渇水被害が大きくなるからである。ただし、地下水収支への影響は小さくなっている。

表4-13 維持流量の不確実さによる各評価指標の変化

		Run28	Run29
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-4	3
	流域内製造業系	-3	3
	流域内農業系	-4	3
	最下流地点	21	-27
	利根導水路	-79	92
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-4	4
	最下流地点	120	-130
	利根導水路	-319	369
	総被害額	-204	243
地下水収支 (百万トン/年)		0	1
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-0.13	0.15
栗橋BOD75値 (mg/Q)		-0.01	0.01

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

4. 2. 3 ダム群運用に関する設定の影響

ここでは、各ダムの計画放流量の決定に関する設定と取水制限に関する設定について、その標準設定を定めるためのデータの出力と算出方法を説明し、その値の不確かさの範囲とシミュレーション結果に与える影響について検討する。

(1) 各ダム計画放流量に関する設定

4. 1. 2で述べたように各ダムからの計画放流量を決定する際には、まず責任放流量分をダム貯水量から確保し、次に利水容量を超える分について計画放流量を加え、さらに計画放流量と残流域からの自然発生流量の和が目標放流量を越えない場合は追加放流を行うようにし、計画放流量を決定する。

目標放流量は、以下の式によって決定される。

$$\text{目標放流量} = \text{最下流地点基準流量} \pm \text{対象流域外との水収支} \pm \text{地下水との水収支} \quad (4.3)$$

ここでは、最下流基準流量と各ダム責任放流量について標準設定とその誤差が与える影響とともに、追加放流の方式を変更することによる影響についても検討する。

最下流地点（栗橋地点）基準流量

1978～87年の実測データの傾向とから、表4-14に示すように基準流量を標準設定とする。このうち、維持流量は利根川ならびに江戸川下流域で合計60（トン／秒）弱見込まれる¹⁴⁾ことによる。

その不確かさの範囲として

Run30：基準流量を用途ごとに10%ずつ減らす、

Run31：基準流量を用途ごとに10%ずつ増やす、

という2条件でシミュレーションを行い、その結果をStandardと比較する。

表4-15に評価指標の一部についてStandardとの差を示す。表4-11に示した利根導水路導水量を増減させたときの結果と似ており、最下流地点や利根導水路の漏水被害について与えている影響は大きい、流域内の漏水被害や地下水収支にはあまり影響を与えていない。

図4-8にはダム群の平均総貯水量の半旬ごとの推移をStandard、Run58、Run59について示す。基準流量を10%変化させることにより、どの半旬においても500～2000万トン程度平均貯水量が変化している。

各ダム責任放流量

相模、園原、下久保、草木の4ダムの責任放流量の標準設定値は、その直下流（相模ダムの場合は月夜野地点、園原ダムは園原地点、下久保ダムは下久保地点、草木地点は高津戸地点と太田頭首工の和）における取水水量に見合うように残流域からの自然発生流量の平均値も考慮しながら各季節ごとに決定している。

表4-14 最下流地点（栗橋）の季節ごとの基準流量

	基準流量（千トン／日）				
	生活系	製造業系	農業系	維持流量	合計
季節1	1000	100	2000	4900	8000
季節2	1000	100	1500	4900	7500
季節3	1000	100	500	4900	6500
季節4	1000	100	0	4900	6000

その不確かさの範囲として、

Run32:各ダム の責任放流量を一律に10%小さくする、

Run33:各ダム の責任放流量を一律に10%大きくする、

という2条件でシミュレーションを行い、その結果をStandardと比較する。

表4-16に評価指標の一部についてStandardとの差を示す。全般的に各指標の変化は小さく、責任放流量の10%程度の変動であれば、シミュレーション結果に与える影響は小さいものと考えられる。

追加放流方式の変更の影響

実際のダム群の運用は、降水からの流出量を予測しながら季節ごとに動的に行われるわけだが、このシミュレーションモデルではこれを簡略化して取り扱うこととする。

標準設定については4.1.2でも述べたが、まず責任放流量が設定されていないダム(矢木沢ダムと藤原ダム)からその貯水量比に応じて追加放流を行い、この操作の後でも目標放流量が満たされない場合は、責任放流量が設定されているダム(相俣ダム、蘆原ダム、下久保ダム、草木ダム)についてもその貯水量比に応じて追加放流を行う、という方式である。

表4-15 最下流地点基準水量の不確かさによる各評価指標の変化

		Run30	Run31
洪水被害 (%・日)	流域内生活系	-40	41
	流域内製造業系	-5	4
	流域内農業系	-49	51
	最下流地点	-352	392
	利根導水路	-389	413
洪水被害額 (億円/年)	流域内	-17	17
	最下流地点	-696	894
	利根導水路	-254	308
	総被害額	-968	1219
地下水収支(百万トン/年)		-8	8
栗橋地点低水流量(トン/秒)		-2.81	2.99
栗橋BOD75%値(mg/Q)		0.08	-0.08

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

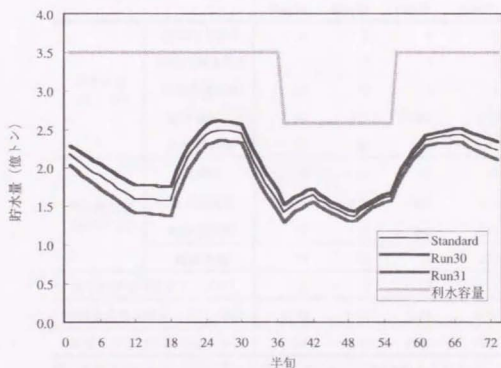


図4-8 各シミュレーションにおける平均貯水量の推移

これに対して、追加放流をする場合に以下のように方式を変更してシミュレーションを行い、Standardとの差を比較する。

Run34：責任放流量の有無に関わらず、全てのダムから貯水量比に応じて追加放流を行う。

Run35：まず、責任放流量が設定されていないダムのうち流入水量／利水容量の大きいダムから追加放流を行い、それでも目標放流量が満たされない場合は、責任放流量が設定されているダムについても流入水量／利水容量が大きいダムから追加放流を行っていく。具体的には、矢木沢&藤原→蘭原→相俣→草木→下久保という順に追加放流を行う。

Run36：責任放流量の有無に関わらず、流入水量／利水容量の大きいダムから追加放流を行っていく。具体的には、蘭原→相俣→草木→矢木沢&藤原→下久保という順に追加放流を行う。

Run37：責任放流量の有無に関わらず、流入水量の大きいダムから追加放流を行っていく。具体的には、矢木沢&藤原→蘭原→草木→下久保→相俣という順に追加放流を行う。

表4-17に評価指標の一部についてStandardとの差を示す。被害額や地下水収支ではどの運用でも大きな変化はない。Run34は複数のダムから一斉に

表4-16 各ダム責任放流量の不確かさによる各評価指標の変化

		Run32	Run33
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-4	4
	流域内製造業系	-1	0
	流域内農業系	-7	12
	最下流地点	-25	28
	利根導水路	-67	64
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-4	5
	最下流地点	-33	40
	利根導水路	-21	29
	総被害額	-58	73
地下水収支 (百万トン/年)		1	1
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		0.17	-0.19
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		0.00	0.00

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

表4-17 追加放流方式の違いによる各評価指標の変化

		Run34	Run35	Run36	Run37
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-6	9	8	16
	流域内製造業系	-1	1	0	2
	流域内農業系	29	-5	13	11
	最下流地点	90	-171	-201	-119
	利根導水路	3	-30	-35	51
渇水被害額 (億円/年)	流域内	13	16	37	23
	最下流地点	35	-110	-203	-13
	利根導水路	17	117	240	217
	総被害額	65	23	75	227
地下水収支 (百万トン/年)		2	-1	2	1
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-0.70	1.21	2.41	1.21
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		0.04	-0.05	-0.10	-0.06

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

追加放流を行う方式であるが、被害額はいずれも増加するもののその変化は小さく、渇水被害では流域内の生活系や製造業系では減少、それ以外で増加している。Run35～Run37は放流する順序を決めて順番に放流していく方式であるが、渇水被害では流域内の生活系や製造業系は増加するものの、最下流地点や利根導水路導水量では減少している。ここで、利根導水路導水量では渇水被害は減少しているのに被害額は増加している。これは、水が不足する確率は減ったが、不足したときの不足率が非常に大きくなっていることを表している。Run35とRun36を比較すると、責任放流量を考慮すると流域内の渇水被害額は小さくなるが、最下流地点では被害額は大きくなり、低水流量も少なくなる。Run36とRun37を比較すると流入水量/利水容量の大きいダムから集中的に放流していく方が流入水量が大きいダムから放流していく方法より総被害額を小さくすることができる。また、順番に放流していくより一斉に放流した方が流域内の被害額は減少するものの、最下流地点では被害額が増加する。

最適な追加放流方式について検討すると、総被害額で考えるとStandardが最も小さくなっていることから、責任放流量を考慮して各ダムの貯水量比に応じて一斉に追加放流を行う、という方式がここで検討した方式の中では最適であると考えられる。ただし地下水収支では、Run35の責任放流量を考慮して流入水量/利水容量の大きいダムから順番に追加放流を行う、という方式が最適となっており、これをどのように考慮するかでどちらが最適が決まる。

図4-9にはStandardとRun34、Run35における平均貯水量の半旬ごとの推移を示す。5月から8月前半の間だけ運用方式による平均貯水量の差が起きる。均等に放流する方がこの時期においては平均貯水量は低くなっているが、これは渇水被害額の増加にはあまり影響を与えていない。

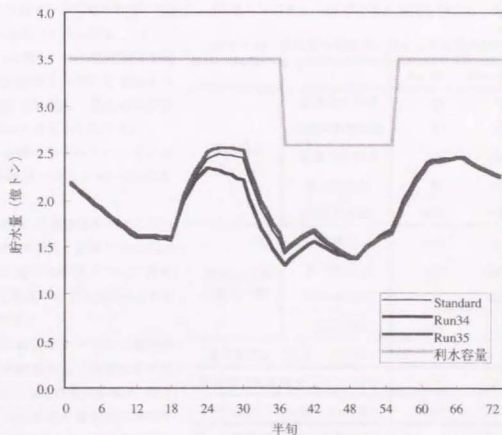


図4-9 各シミュレーションにおける平均貯水量の推移

(2) 取水制限に関する設定

表4-18 過去の渇水における各取水制限率と
取水制限開始貯水量 (億トン)

	昭和53年	昭和62年	平成2年
10%	1.40 (8.10)	1.35 (6.16)	1.50 (7.23)
20%	0.55 (8.28)	0.95 (6.22)	1.30 (8.3)
30%		0.50 (7.2)	

※1 () 内は開始日

2 平成2年は7ダム(渡良瀬を含む)

このシミュレーションモデルでは、各月ごとに取水制限を開始する貯水量と制限率を設定できるようになっていている。ここでは、標準設定として年間一律で6ダムの総貯水量が1.5億トン未満になったときに河川から取水しているすべての事業者に対して10%の取水制限を行うようにし、その後

0.375億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにしている。取水制限開始貯水量については、表4-18に示したここ数年の取水制限の実績より1.5億トンとし、最大取水制限率は3.4.3で述べたように不足率が40%を越えると生活の水利用被害額が急激に大きくなることから40%としている。

以下に、最大取水制限率を30~60%まで変化させた場合、取水制限開始貯水量を0.5~2.5億トンまで変化させた場合、さらに月によって取水制限の設定を変えた場合について、シミュレーション結果への影響を検討する。

最大取水制限率

まず、最大取水制限率を変化させた場合を検討する。

Run38:1.5億トンから取水制限を開始し、0.5億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が30%となるようにする、

Run39:1.5億トンから取水制限を開始し、0.3億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が50%となるようにする、

Run40:1.5億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が60%となるようにする、
という3条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-19に評価指標の一部についてStandardとの差を、図4-10には渇水被害額と地下水収支について最大取水制限率の違いによるStandardからの変化を示す。

最大取水制限率を下げると流域内や利根導水路導水量の渇水被害や被害額と地下水収支は減少するが、最下流地点の渇水被害や被害額は増加する。総被害額で考えると最大取水制限

表4-19 最大取水制限率の違いによる各評価指標の変化

		Run38	Run39	Run40
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-54	52	105
	流域内製造業系	-7	34	78
	流域内農業系	-69	64	124
	最下流地点	29	-34	-73
	利根導水路	-386	363	706
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-12	14	36
	最下流地点	167	-165	-317
	利根導水路	-41	148	500
	総被害額	114	-2	219
地下水収支 (百万トン/年)		-5	5	9
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-0.11	0.10	0.26
栗橋BOD75%値 (mg/Q)		0.00	0.01	0.01

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

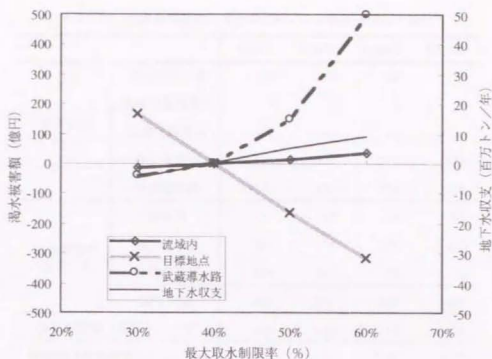


図4-10 最大取水制限率による洪水被害額と地下水収支の変化

率がStandard (40%)とRun39 (50%)ではほとんど差がないので、地下水収支の値が小さいStandardを用いるのが最適であると言える。

取水制限開始貯水量

次に取水制限開始貯水量を変化させた場合について検討する。

Run41: 0.5億トンから取水制限を開始し、0.125億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする、

Run42: 1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする、

Run43: 2.0億トンから取水制限を開始し、0.5億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする、

Run44: 2.5億トンから取水制限を開始し、0.625億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする、

という4条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-20に評価指標の一部についてStandardとの差を、図4-11には洪水被害額と地下水収支について取水制限開始貯水量の違いによるStandardからの変化を示す。取水制限開始貯水量を低くすると最下流地点や利根導水路導水量において洪水被害は減少するが、被害額は増加している。これは、取水制限開始貯水量を低くすることにより洪水の頻度は減るものの洪水が起こったときの深刻度が大きくなっているからである。よって、総被害額から考えるとRun44 (開始貯水量2.5億トン) が最適ということになるが、洪水被害は悪化しており、開始貯水量を高くすると表流水の取水制限により地下水からの取水量が増えてしまい地下水収支は悪化すること、などから一概に開始貯水量を高くすればよいとは言えない。

表4-20 取水制限開始貯水量の違いによる各評価指標の変化

		Run41	Run42	Run43	Run44
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-110	-55	64	138
	流域内製造業系	-7	-3	3	7
	流域内農業系	-132	-67	76	170
	最下流地点	-322	-179	231	511
	利根導水路	-1178	-612	738	1625
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-30	-15	18	41
	最下流地点	315	170	-170	-310
	利根導水路	190	116	-88	-132
	総被害額	476	271	-240	-401
地下水収支 (百万トン/年)		-28	-15	19	41
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		3.39	1.96	-2.36	-4.89
栗橋BOD75%値 (mg/Q)		-0.10	-0.06	0.08	0.17

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

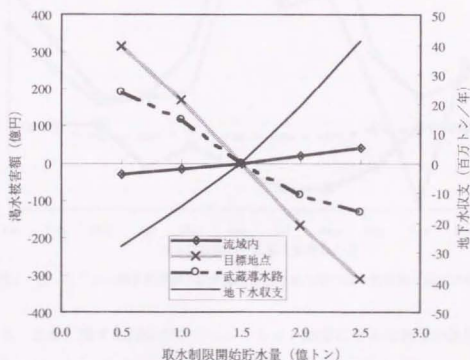


図4-11 取水制限開始貯水量による渇水被害額と地下水収支の変化

季節ごとの取水制限ルールの変更

ここでは、標準設定から一年のうち一月だけ取水制限開始貯水量を1.0億トンに下げることによるシミュレーション結果への影響を検討する。よって、1～12月についてそれぞれ1.0億トンに下げたものをRun45～Run56としてシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。なお、最大取水制限率は40%となるように変更している。

図4-12は各シミュレーション結果における洪水被害額と地下水収支の標準設定からの変化量を示す。前項より、取水制限開始貯水量を減らすと、利根導水路導水量や最下流地点の洪水被害額は増加し、流域内の被害額や地下水収支は減少するものと考えられる。図から、利根導水路導水量や最下流地点の洪水被害額では6～8月や12～1月で増加量が大きくなっており、逆を考えるとこの期間では取水制限開始貯水量を高くすると被害額の減少量が大きくなっているものと考えられる。よって、季節ごとに取水制限開始貯水量を変更する場合、6～8月や12～1月においては高くした場合の洪水被害額の削減効果が他の月と比べて大きい。

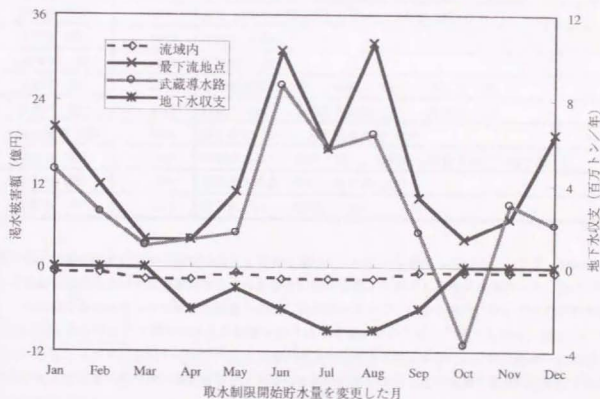


図4-12 月ごとに取水制限開始貯水量を変化させた時の洪水被害額と地下水収支の変化

4. 2. 4 水量に関する設定がシミュレーション結果に与える影響の比較

以上に、水量に関する設定について個別にシミュレーション結果に与える影響を検討してきたが、ここではこれらをまとめて各指標についてどのような設定がシミュレーション結果に大きな影響を与えているかを検討する。

まず、水量に関するパラメーター群の不確かさが与える影響について検討したときに、洪水被害がどの程度変化しているかを見ておく。表4-21に洪水被害についてStandardの値とRun7～Run29での最大値、最小値とその変動幅を示す。流域内生活系では変動幅が他と比べて小さくなっている。これは、流域内生

表4-21 StandardとRun7～Run29の最大・最小の渇水被害(％・日)

	Standard	最小値	最大値	変動幅
流域内生活系	300	271	327	56
流域内製造業系	46	20	255	235
流域内農業系	364	157	425	268
最下流地点	1846	1599	2111	512
利根導水路	3194	2850	3550	700

表4-22 Standardにおいて渇水被害の大きな事業体と水源

事業体名(県)	渇水被害	水源(取水比率％)
桐生市(群)	3815	渡良瀬川(82)、自然発生流量(10)、地下水(8)
野木町(栃)	3577	思川(89)、古河市上水道からの受水(11)
沼田市(群)	3454	片品川(100)
月夜野町(群)	3156	利根川(100)
箕郷町(群)	2457	自然発生流量(48)、利根川(39)、地下水(13)
榛東村(群)	2017	利根川(39)、自然発生流量(35)、地下水(26)
大間々笠懸(群)	1406	渡良瀬川(84)、自然発生流量(16)
高崎市(群)	885	利根川(49)、烏川(33)、自然発生流量(11)、地下水(7)
新里村(群)	673	自然発生流量(53)、地下水(47)
前橋市(群)	512	地下水(71)、利根川(29)

活系の渇水被害が水量に関する設定の変化に影響を受けにくいことを意味している。そこで、Standardについて渇水被害の大きい上水道事業体とその水源と計画取水量より算出した取水比率を表4-22に示す。これらに共通するのは河川や自然発生流量への依存率が高いことで、しかも河川においてはその取水地点が上流の方にあるために、流域の変化の影響を受けにくくなっているものと考えられる。逆に、このシミュレーションモデルにおいて流域内の生活系渇水被害を効果的に削減するためには、表4-22に示した事業体に対して雨水利用などの節水対策や上水道の有効給水率の改善などの施策を重点的に実行すればよいものと考えられる。

次に渇水被害額について、各設定の変化による影響を比較する。

図4-13～15に流域内、最下流地点、利根導水路導水量の渇水被害額について、流量・乱数(Run3、Run4)、流量・代表(Run5、Run6)、生活系消失率(Run7、Run8)、製造業系水量(Run9、Run10)、製造業消失率(Run11、Run12)、製造業消失率(Run13、Run14)、水田水使用量(Run15、Run16)、水田消失率(Run17、Run18)、導水量(Run19、Run20)、製・計画取水(Run21、Run22)、地下水可能量(Run24、Run25)、表流水可能量(Run26、Run27)、維持流量(Run28、Run29)、基準水量(Run30、Run31)、責任放流量(Run32、Run33)、放流方式(Run34～Run37)、最大制限率(Run38～Run40)、取水制限開始貯水量(Run41～Run44)の各設定の影響による変化の幅を示す。

まず流域内被害額についてみると、水田水使用量の原単位による変動が他と比べて非常に大きくなっていることがわかる。この原単位の不確かさの範囲が大きいことがこの原因の一つと考えられるが、

最下流地点被害額のStandardに対する変化 (億円)

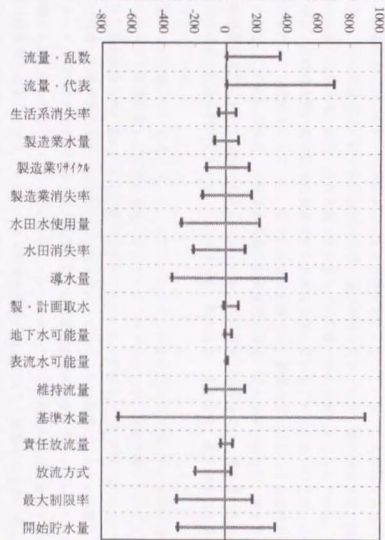


図4-14 各設定の影響による最下流地点洪水被害額の変動

流域内被害額のStandardに対する変化 (億円)

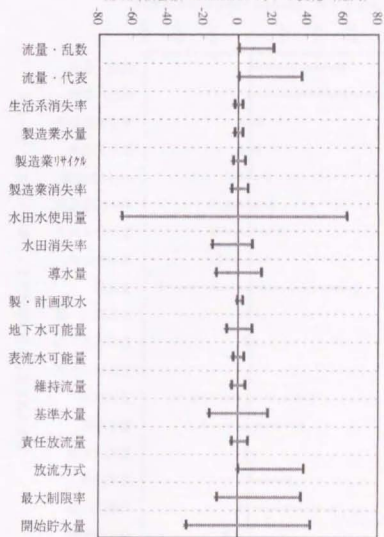


図4-13 各設定の影響による流域内洪水被害額の変動

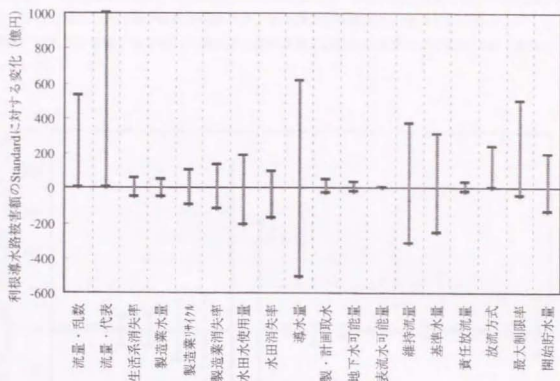


図4-15 各設定の影響による利根導水路漏水被害額の変動

その他にも対象流域内において農業系の取水量が多いことや農業系の水利用では地下水への涵養量が多いことから、農業系水利用の変化が流域全体に与える影響が大きくなっていることも原因であると考えられる。この他に、取水制限開始日数や最大取水制限率、追加放流方式などのダム群の運用方法に関する設定や自然発生流量の代表流域の設定、基準水量や導水量などの影響の現れ方が大きくなっている。

最下流地点と利根導水路の被害額は対象流域外の被害額を表していることになるわけだが、この2つの図は比較的似たような傾向を示している。最下流地点被害額では、基準水量の設定による変動が他と比べて非常に大きく、この他に導水量、自然発生流量の代表流域の設定、取水制限開始日数、最大取水制限率や水田水使用量原単位において変動が大きくなっている。利根導水路被害額では、導水量や自然発生流量の代表流域の設定が変動の幅が大きいが、このほかにも、維持流量、基準水量、最大取水制限率などでも値が大きくなっている。

対象流域外の被害額については、3、4、3で述べたように被害を過大に評価しているので対象流域内の被害額と合わせて総被害額として同じ次元で評価することはできないが、各被害額についてまとめて考えると、自然発生流量系列の違いによる影響が全般的に大きくなっており、代表流域の設定ばかりでなく、同じ条件で作成した自然発生流量系列を用いても乱数のばらつきにより被害額には大きな影響を与えている。パラメーター群の中では水田における水利用に関する原単位や導水量などがシミュレーション結果に与える影響が大きくなっており、ここで用いたシミュレーションモデルを利根川水系に適用する場合、これらの値の精度を上げることがシミュレーション結果の精度の向上に大きく影響するものと考えられる。ダム群の運用方法の設定も全般的に変動の幅が大きく、被害額を正確に推定するためには再現性を高める必要があるだろう。

地下水収支について同様に図4-16に示す。これに関しては、水田の水使用量原単位や消失率の変動が最も大きくなっており、その他では製造業系の消失率や取水制限開始貯水量などの変動が大きくなっている。被害額では大きな影響を与えていた導水量や基準水量、自然発流量などの影響は地下水収支では小さくなっている。

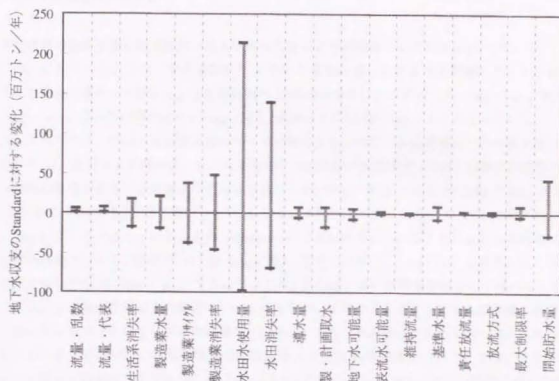


図4-16 各設定の影響による地下水収支の変動

4. 3 水質に関する設定についての考察

本節では、水質に関する設定として、生活排水からの汚濁負荷量、生活排水の処理別人口、製造業や畜産業の汚濁負荷原単位、面源からの汚濁負荷原単位、流速率について、その標準設定を定めるためのデータの出典や算出方法を説明し、その値の不確かさの範囲とシミュレーション結果に与える影響について検討する。なお、水質に関する設定に用いられるデータの主な出典は、基本的に下水道計画を立案するうえでの指針としてまとめられている「流域別下水道整備総合計画調査・指針と解説」¹¹⁾（流総調査）と日本生命財団による助成研究「首都圏における水資源の開発と保全に関する総合研究」の研究グループ¹²⁾が行った首都圏の水環境の将来予測で用いられたデータによる。

4. 3. 1 生活系汚濁負荷に関する設定

生活系の汚濁負荷は、下水処理場、合併浄化槽、単独浄化槽（雑排水は放流）、し尿処理（雑排水は放流）の4つの形態に分けて処理が行われ、排出されている。このうち、下水処理場からの汚濁負荷は処理場ごとの放流水質に基づいて汚濁負荷量が算出されているが、他の3形態については人口当たりの排出汚濁負

汚濁単位を用いて汚濁負荷量が算出されている。各形態別の人口は、下水処理人口については4.1、1で述べたように下水道統計⁷⁾の値により算出しているが、他の3形態については推定によっている。

ここでは、各下水処理場の処理水質、排水処理形態別人口当たり排出汚濁負荷量、そして処理形態別人口の精度とシミュレーション結果に与える影響について考察する。

(1) 各下水処理場の放流水質

下水処理場の放流水質は処理形式や流入下水の性質により処理場ごとに異なる。

BOD、CODについては、下水道統計⁷⁾において各処理場における水質試験のデータが存在するので、これを標準設定として用いる。対象流域内の31処理場でBODの平均は6.5 (mg/ℓ)、範囲は2.2～18.7 (mg/ℓ)、CODの平均は9.4 (mg/ℓ)、範囲は1.8～20.5 (mg/ℓ)となっている。

一方、TNやTPについては水質試験のデータが得られないので、各処理場に一律の値を推定して用いる。安中¹⁶⁾は、建設省土木研究所における全国の下水処理場の機能調査(1983～84年)の結果から日本の下水処理場の処理水質を二次処理水の平均値でBOD 10 (mg/ℓ)、COD 13 (mg/ℓ)、TN 20 (mg/ℓ)、TP 2 (mg/ℓ)、90%値でBOD 16 (mg/ℓ)、COD 20 (mg/ℓ)、TN 31 (mg/ℓ)、TP 3.3 (mg/ℓ)とまとめている。また、Henze¹⁷⁾は下水処理場におけるさまざまな処理形式における放流水質の期待値について、TNで10～45 (mg/ℓ)、TPで0.5～9 (mg/ℓ)と報告している。ここでは、TNについては30 (mg/ℓ)、TPについては1.5 (mg/ℓ)を標準設定として用いることとする。

次に、これらの値の不確かさの範囲についてであるが、TNやTPばかりでなく実測値に基づくBODやCODについても、サンプリングの間隔などに基づいてかなりの誤差があるものと考えられる。ここでは、BOD、CODについては各処理場の標準設定から±20%の範囲について、TN、TPについてはHenze¹⁷⁾の報告を参考に、TNで10～40 (mg/ℓ)、TPで0.5～4 (mg/ℓ)の範囲について検討する。

以上をまとめると

Run57:各処理場の放流水質を、BODとCODは標準設定から20%減、TNは10 (mg/ℓ)、TPは0.5 (mg/ℓ)とする、

Run58:各処理場の放流水質を、BODとCODは標準設定から20%増、TNは40 (mg/ℓ)、TPは4 (mg/ℓ)とする、

という2つの条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-23に栗橋地点における水質指標のうち、4項目の75%値とBODの超過確率について、Standardの結果とRun57、Run58についてはStandardとの差を示す。図4-3から下水道が全体に占める負荷が小さいBOD、CODなどの有機物指標では変化は小さいが、全体に占める負荷が大きいTNでは非常に変化が大きくなっている。

表4-23 下水処理水質の不確かさによる栗橋地点における水質75%値 (mg/ℓ) と超過確率 (%) の変化

	Standard	Run57	Run58
BOD75%値	3.11	-0.04	0.04
COD75%値	4.60	-0.06	0.06
TN75%値	2.31	-0.56	0.27
TP75%値	0.230	-0.027	0.071
BOD超過確率	48.8	-0.7	0.7

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

(2) 排水処理別人口当たり排出汚濁負荷量

流総調査¹⁰⁾において一人一日当たりの汚濁負荷量の研究例がまとめられており、それによると4種の水質指標について排出負荷量は表4-24のようになる。また、単独浄化槽、戸別合併浄

化槽についてもそれぞれ一人一日当たりの汚濁負荷量の平均と分布の範囲が表4-18に算出されている。流総調査は下水道整備の面から汚濁負荷原単位の算出がなされているが、これとは別に湖沼の環境保全の面から環境庁において流域の負荷量調査がなされており、首都圏の水^④はこの負荷量調査で用いた原単位により、利根川における汚濁負荷量を算出している。しかし、首都圏の水で用いられた値は表4-25に示した流総調査の値の範囲の中に含まれるので、ここでは流総調査の平均値を用いて標準設定値を推定することとする。

具体的には、表4-26に示したように合併浄化槽については流総調査の平均値をそのまま、単独浄化槽については表4-24の内訳のうち雑排水の分と単独浄化槽排出原単位の平均値の和を、くみ取りについては、表4-24の内訳のうち雑排水の分を標準設定として用いる。なおくみ取り後のし尿はこの流域においては主に下水処理場にて処理されているが、現時点において本研究のモデルではこれを省略している。よってTN、TPについては3つの形態のうちくみ取りがもっとも負荷量が小さくなっている。

一人当たり排出汚濁負荷量の不確かさの範囲としては、流総調査における一人一日当たり汚濁負荷量のうち雑排水の範囲、単独浄化槽における汚濁負荷量の範囲、合併浄化槽における汚濁負荷量の範囲の3種類の不確かさの範囲を考慮し、

Run59：合併浄化槽における汚濁負荷量の範囲の最小値を用いる、

Run60：合併浄化槽における汚濁負荷量の範囲の最大値を用いる、

Run61：単独浄化槽における汚濁負荷量の範囲の最小値を用いる、

Run62：単独浄化槽における汚濁負荷量の範囲の最小値を用いる、

Run63：表4-24の雑排水とし尿の比から雑排水の範囲を算出し、その最小値を用いる、

Run64：Run63で求めた範囲の最大値を用いる。

という6条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-27に栗橋地点における水質指標のうち、4項目の75%値とBODの超過確率について、Standardとの差を示す。合併浄化槽は後述するが使用人口が少ないこと、単独浄化槽は汚濁負荷量が小さくその誤差範囲も小さいことから、各指標の変化はほとんどない。一方、Run63、Run64の雑排水の範囲による変化は特に有機物指標で大きくなっている。

表4-24 一人一日当たりの汚濁負荷量 (g/人/日)

	平均値	内訳		範囲
		し尿	雑排水	
BOD	57	18	39	28 ~ 76
COD	28	10	18	13 ~ 33
TN	12	9	3	6.8 ~ 16.8
TP	1.2	0.9	0.3	0.71 ~ 4.1

※ 流総調査^①より

表4-25 浄化槽における排出汚濁負荷量 (g/人/日)

	合併浄化槽		単独浄化槽	
	標準設定	範囲	標準設定	範囲
BOD	10.9	2.0 ~ 18.3	4.3	3.8 ~ 4.3
COD	7.7	2.5 ~ 15.0	4.6	4.1 ~ 5.2
TN	6.5	3.4 ~ 16.3	5.9	5.2 ~ 6.6
TP	0.75	0.38 ~ 2.15	0.63	0.56 ~ 0.70

※ 流総調査^①より

表4-26 各処理形態の一人一日当たり汚濁負荷量の標準設定 (g/人/日)

	BOD	COD	TN	TP
合併浄化槽	10.9	7.7	6.5	0.75
単独浄化槽	43.3	22.6	8.9	0.93
くみ取り	39.0	18.0	3.0	0.30

表4-27 下水人口以外の排出汚濁負荷量の不確実さによる栗橋地点における
水質75%値 (mg/Q) と超過確率 (%) の変化

	Run59	Run60	Run61	Run62	Run63	Run64
BOD75%値	0.00	0.01	-0.01	0.01	-0.63	0.41
COD75%値	-0.01	0.01	-0.02	0.02	-0.63	0.20
TN75%値	-0.01	0.01	-0.03	0.02	-0.09	0.07
TP75%値	0.000	0.002	-0.002	0.002	-0.008	0.046
BOD超過確率	-0.1	0.1	-0.1	0.1	-11.2	6.1

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

(3) 処理形態別の人口

日本全国（1988年度）で約40%が下水道と接続しており、し尿については31%が収集処理、28%が単独浄化槽、残りがコミュニティプラントや戸別合併浄化槽で処理を行っている。

ここでは、日本全国の比率を対象流域にも適用して、下水道人口以外について標準設定を合併浄化槽2%、単独浄化槽48%、くみ取り50%とする。

形態別人口の不確実さの範囲については、3形態のうち一つを固定して他の2つを変化させて

Run65：下水処理人口以外について、合併浄化槽1%、単独浄化槽49%、くみ取り50%とする、

Run66：下水処理人口以外について、合併浄化槽3%、単独浄化槽47%、くみ取り50%とする、

Run67：下水処理人口以外について、合併浄化槽1%、単独浄化槽48%、くみ取り51%とする、

Run68：下水処理人口以外について、合併浄化槽3%、単独浄化槽48%、くみ取り49%とする、

Run69：下水処理人口以外について、合併浄化槽2%、単独浄化槽43%、くみ取り55%とする、

Run70：下水処理人口以外について、合併浄化槽2%、単独浄化槽53%、くみ取り45%とする、

という6条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-28に栗橋地点における水質指標のうち、4項目の75%値とBODの超過確率について、Standardとの差を示す。図4-3の下水道以外の生活系の負荷量では有機物指標に関しては負荷量がかなり大きかったが、表4-28の水質指標ではその変化は非常に小さくなっている。また、Run67とRun68では有機物指標とTNで逆の変化を示しているが、これは前項(2)で述べたようにTNやTPではなくくみ取りの方が合併浄化槽より排出汚濁負荷量が小さくなっているからである。

表4-28 処理形態別人口の不確実さによる栗橋地点における
水質75%値 (mg/Q) と超過確率 (%) の変化

	Run65	Run66	Run67	Run68	Run69	Run70
BOD75%値	0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01
COD75%値	0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	0.01
TN75%値	0.00	-0.01	-0.01	0.00	-0.02	0.01
TP75%値	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.002
BOD超過確率	0.2	-0.2	0.2	-0.1	-0.1	0.1

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

4. 3. 2 製造業系汚濁負荷に関する設定

流総調査¹¹⁾においては、製造業では業種により汚濁負荷量の差が大きく、特に食品や紙・パルプ、化学、石油関連など汚濁負荷量の多い業種については工場ごとに汚濁負荷量を把握した方がよいとされている。また、環境庁の調査による業種ごとの排水水質と工業統計より算出した排水量原単位より業種ごとの汚濁負荷量原単位を算出している。ただし、ここで用いられた排水水質は原水水質であり、工場から放流される前に排水基準を満たすために何らかの処理が行われるはずなので、実際の放流水質ではない。

そこで、ここでは標準設定として、BOD:20 (mg/ℓ)、COD:20 (mg/ℓ)、TN:10 (mg/ℓ)、TP:0.5 (mg/ℓ)を用いることとする。TN、TPは下水道放流水質に関して用いた誤差範囲の最小値を用いている。

また、その不確かさの範囲として

Run71: 製造業系排水水質を各項目20%ずつ減少させる、

Run72: 製造業系排水水質を各項目20%ずつ増加させる、
という2条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-29に栗橋地点における水質指標のうち、4項目の75%値とBODの超過確率について、Standardとの差を示す。図4-3より汚濁負荷全体に占める製造業系の比率はそれほど大きくないので、各指標の変化も小さくなっている。

表4-29 製造業系排水水質の不確かさによる栗橋地点における水質75%値 (mg/ℓ) と超過確率 (%) の変化

	Run71	Run72
BOD75%値	-0.04	0.04
COD75%値	-0.09	0.09
TN75%値	-0.05	0.04
TP75%値	-0.002	0.002
BOD超過確率	-0.7	0.7

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

4. 3. 3 畜産系汚濁負荷に関する設定

家畜からの汚濁負荷量については、流総調査¹¹⁾では表4-30に示したように牛と豚の原単位がまとめられている。一方、首都圏の水¹⁵⁾では同じく表4-30に示した原単位を用いて利根川水系の汚濁負荷量の算定を行っているが、流総調査における原単位と一桁違っており、この家畜からの汚濁負荷量にはばらつきが大きいことがわかる。

ここでは、標準設定として表4-30の首都圏の水の値を用いることにする。なお、BODはCODと同じ値を用いる。

そして、その不確かさの範囲として

Run73: 畜産系汚濁負荷原単位を一律に半減する、

Run74: 表4-30の流総調査の値を用いる、
という2条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-31に栗橋地点における水質指標のうち、4項目の75%値とBODの超過確率について、Standardとの差を示す。不確かさの範囲が大きいので、全般的に変動は大きく、特に

表4-30 一頭当たり排出汚濁負荷量の例 (g/頭/日)

		BOD	COD	TN	TP
流総調査 ¹¹⁾	牛	640	530	378	56
	豚	200	130	40	25
首都圏の水 ¹⁵⁾	牛		53	26	6.5
	豚		19.5	8.1	4.3

表4-31 一頭当たり排出汚濁負荷量の不確かさによる栗橋地点における水質75%値 (mg/ℓ) と超過確率 (%) の変化

	Run73	Run74
BOD75%値	-0.15	2.97
COD75%値	-0.30	4.17
TN75%値	-0.14	2.22
TP75%値	-0.050	0.609
BOD超過確率	-2.5	30.5

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

Run74の流総調査の値を用いたときは非常に大きくなっている。図4-3より汚濁負荷量全体のうちTPについては畜産系は約半分を占めており、特にその影響は大きくなっている。

4. 3. 4 面源汚濁負荷に関する設定

面源汚濁負荷量は晴天時と雨天時で差があり、晴天時には地下からの浸透や農業用水によってのみ流出するが、雨天時には表面からの流出により汚濁負荷量は多くなる。よって、河川における汚濁解析と閉鎖性水域の汚濁解析では用いる値が違い、流総調査¹¹⁾では、河川の場合は該当流域の比流量から原単位を算出する式を用いており、閉鎖性水域の場合は土地利用別に雨天時流出も考慮した原単位を算出している。本論文では河川における水質に注目しているものの、河川流量については低水時のみを考慮しているわけではないので、閉鎖性水域を考慮する場合と同様に雨天時流出も考慮した原単位を用いることにする。

流総調査ならびに首都圏の水¹²⁾の値により、面源汚濁負荷原単位の標準設定とその不確実さの範囲を表4-32に定める。ただし、この値は年間の原単位であるので半旬単位の原単位に算出し直す必要がある。この時、面源負荷量の季節変動を考慮するために畑地、市街地、山林については対象流域内の平均的な降水量を用いて、水田については降水量だけでなく、水田用水量をそれに足し合わせた値を用いて、各季節における半旬単位の排出負荷減単位を算出する。また、BODに関する排出原単位が得られていない場合はCODの値を代用する。

よって、面源排出汚濁負荷量の不確実さによるシミュレーション結果への影響を検討するために、表4-32で示した年間の不確実さの範囲を標準設定と同様に半旬単位に算出し直して、

- Run75：水田の排出負荷原単位を範囲の最小の値にする、
- Run76：水田の排出負荷原単位を範囲の最大の値にする、
- Run77：畑地の排出負荷原単位を範囲の最小の値にする、
- Run78：畑地の排出負荷原単位を範囲の最大の値にする、
- Run79：市街地の排出負荷原単位を範囲の最小の値にする、
- Run80：市街地の排出負荷原単位を範囲の最大の値にする、
- Run81：山林の排出負荷原単位を範囲の最小の値にする、
- Run82：山林の排出負荷原単位を範囲の最大の値にする、

という8条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-33に栗橋地点における水質指標のうち、4項目の75%値とBODの超過確率について、Standardとの差を示す。図4-3より汚濁負荷量全体に占める比率では、水田、市街地、山林などでは有機物指標で高くなっている。一方、畑地ではTNで高くなっているものの他のものは非常に低い。また、不確実さ

表4-32 面源汚濁負荷の排出原単位の設定 (g/ha/年)

		標準設定	不確実さの範囲
水田	COD	213	6.3875 ~ 475
	TN	49.8	11.717 ~ 67.6
	TP	4.15	0.9818 ~ 7.43
畑地	COD	10.3	3.65 ~ 21.9
	TN	76	8.2 ~ 238
	TP	0.68	0 ~ 2.43
市街地	BOD	187	41 ~ 605
	COD	141	34 ~ 378
	TN	19.7	4.5 ~ 34.2
山林	TP	2.7	0.9 ~ 6.5
	COD	21.5	0.912 ~ 66
	TN	3.6	0.3 ~ 8.8
	TP	0.3	0.01 ~ 1.27

表4-33 面源汚濁負荷量の不確かさによる栗橋地点における水質75%値 (mg/ℓ) と超過確率 (%) の変化

	Run75	Run76	Run77	Run78	Run79	Run80	Run81	Run82
BOD75%値	-0.44	0.55	-0.01	0.02	-0.27	0.78	-0.23	0.50
COD75%値	-0.90	1.02	-0.02	0.03	-0.40	0.87	-0.47	1.00
TN75%値	-0.16	0.07	-0.22	0.51	-0.06	0.05	-0.08	0.11
TP75%値	-0.013	0.014	-0.002	0.005	-0.007	0.014	-0.007	0.022
BOD超過確率	-8.7	8.0	-0.2	0.3	-4.6	11.5	-3.7	7.6

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

の範囲が全般的に大きいので、水田、山林、市街地では特に有機物指標で指標の変化が大きくなっており、畑地についてはTNでのみ指標の変化が大きくなっている。

4. 3. 5 流達率

流達率に関しても、面源汚濁負荷減単位と同様に河川を対象とする場合と閉鎖性水域を対象とする場合で用いるべき値は異なり、閉鎖性水域を対象とした場合についての流達率は長期間の平均的な流達率を考えるべきである。流達率調査¹⁰⁾には、平均的な流達率についての資料は多くなく、いくつかの資料をまとめた結果では流達率は流域面積や人口密度とはあまり関係なく、流域の比流量と比較的相関があると報告されている。対象流域の比流量は3000 (トン/日/ km²) 弱で、まとめた結果によるとCODが0.3程度、BODが0.15程度となる。

ここでは、対象流域全体に対して共通の値を設定することとし、標準設定としてBOD 15%、それ以外の水質項目については30%とする。

また、その不確かさの範囲として

Run83: BODの流達率は10%、それ以外の3項目については25%とする、

Run84: BODの流達率は20%、それ以外の3項目については35%とする、

という2条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

表4-34に栗橋地点における水質指標のうち、4項目の75%値とBODの超過確率について、Standardとの差を示す。流達率は下水道からの排出負荷以外の全ての負荷にかかる係数であるため、全般的に水質指標への影響が大きくなっている。

表4-34 流達率の不確かさによる栗橋地点における水質75%値 (mg/ℓ) と超過確率 (%) の変化

	Run83	Run84
BOD75%値	-0.97	0.97
COD75%値	-0.72	0.72
TN75%値	-0.25	0.24
TP75%値	-0.032	0.031
BOD超過確率	-18.7	13.3

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

4. 3. 6 水質に関する設定がシミュレーション結果に与える影響の比較

以上に、水質に関する設定について個別にシミュレーション結果に与える影響を検討してきたが、ここではこれらをまとめて各指標についてどのような設定がシミュレーション結果に大きな影響を与えているかを検討する。BOD、COD、TN、TPの4項目の75%値について、各設定の誤差による変化の幅を図4-17~20に示す。

BODとCODでは畜産業原単位の不確かさによる変化が最も大きく、その他に流速率、雑排水原単位、水田、市街地、山林等の原単位による変化が大きくなっている。TNでも畜産業原単位の不確かさによる変化が最も大きく、その他に下水道、畑地原単位、流速率による変化が大きくなっている。TPでは特に畜産業原単位の不確かさによる変化が最も大きくっており、その他では下水道や雑排水原単位や流速率などによる変化が多少目立つ程度である。

こうしてみると4項目共通して最も変化の幅が大きいのが畜産業の汚濁負荷原単位の影響で、この原単位自体の不確かさの範囲が広いことが主な原因であると考えられる。TPについては、流域全体の負荷量にしろ畜産系負荷量が大いので、特に畜産業原単位による変化が大きくなっている。よって、この原単位をより正確に推定するのは流域全体の負荷量を把握するうえで非常に重要である。

また、流速率も全項目にわたって比較的变化が大きくなっているが、これは流速率の不確かさの範囲が広いというより、流速率が下水道以外の全負荷量にかかることから、このパラメーター自体がシミュレーションモデルに与える影響が大きいことによるものである。

この他にも、有機物指標について考えるときは雑排水や水田、市街地、山林の負荷原単位、TNについては下水道処理水質や畑地の負荷原単位、TPについては下水道処理水質や雑排水の負荷原単位を正確に推定していく必要があると考えられる。

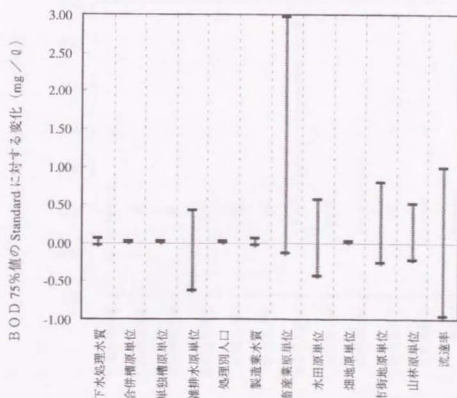


図4-17 各設定の不確かさに対する栗橋地点BOD75%値の変動

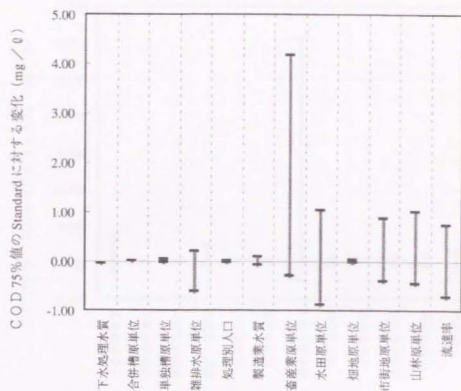


図 4-18 各設定の不確定さに対する栗橋地点 C O D 75% 値の変動

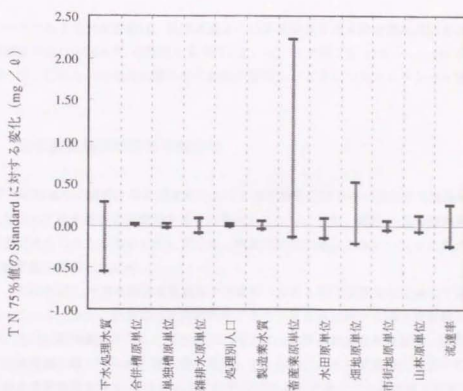


図 4-19 各設定の不確定さに対する栗橋地点 T N 75% 値の変動

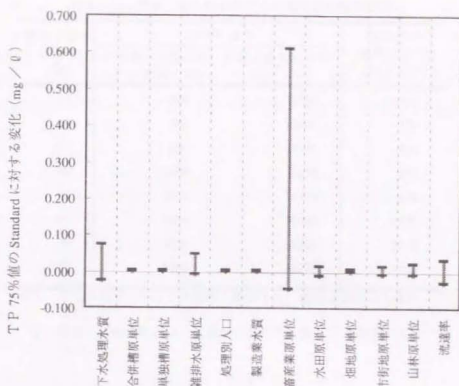


図4-20 各設定の不確定さに対する栗橋地点TP75%値の変動

4. 4 洪水被害額原単位に関する設定についての考察

評価指標の一つである洪水被害額は、基準水量からの不足水量と洪水被害額原単位を用いて算出している。この被害額原単位は中澤ら¹⁸⁾の研究を参考に、3. 4. 3で示した(3.8)～(3.11)式を用いて算出している。本節では、これらの原単位の算出時の設定が変化したときにシミュレーション結果に与える影響を検討する。

4. 4. 1 洪水被害額原単位の不確かさ

中澤ら¹⁸⁾は、昭和48年の高松・松江洪水時における実態調査の結果から洪水被害額原単位を用途ごとにまとめ、これを用いて洪水被害を計量化する方法を示している。また、昭和53年の福岡洪水の調査例からこの方法が妥当であることもあわせて示している。本論文におけるシミュレーションモデルではこの方法を参考にして被害額を算出している。

山内¹⁹⁾は、その後生じた洪水被害実態調査や各家庭における節水実験などを通じて洪水被害額原単位の見直しを行っている。また、中澤らは取水制限率ごとの不足水量に対する洪水被害額として原単位を算出していたが、山内は給水制限率ごとに家庭用水の場合は一世帯一日当たり被害額、都市用水と工業用水については付加価値減少率という形で被害額を算出している。このうち家庭用水について、その給水制限率ごとの洪水被害額原単位を表4-35に示す。標準設定のもととなっている中澤らの原単位は1977年に算出されたもので、山内の原単位は1984年度価格であることから、物価の上昇により山内の方が若干高くなることは予想されるものの、表における不足水量当たりの原単位の差は物価の上昇だけでは説明できるものではないことがわかる。特に給水制限率が低いときにその差は顕著であり、原単位としてどちらを採

表4-35 取水・給水制限率ごとの渇水被害額原単位

給水・取水 制限率 (%)	山内 ¹⁹⁾ より		原単位の 標準設定 ²⁾ (円/トン)
	一世帯一日当たり (円/世帯/日)	不足水量当たり ^{※1} (円/トン)	
10	200	2500	150
20	400	2500	150
30	600	2500	150
40	1680	5250	163
50	2760	6900	538
60	3840	8000	1323
70	4920	8786	2518
80	6000	9375	4123

※1 不足水量当たりは1世帯の人数が4人、使用水量が一人当たり0.2(トン)として算出している。

2 原単位の標準設定は上水道系のもので中澤¹⁸⁾を参考にしたもの。

用するかでシミュレーション結果にも少なからず影響を与えることが予想される。

渇水被害額原単位として(3.8)～(3.11)式を用いた標準設定を評価A、山内による家庭用水の渇水被害額原単位を(4.4)、(4.5)式で表し、上水道および上水道以外の生活系における渇水被害額について、(3.8)、(3.9)の代わりにこれらを用いた場合を評価Bとして、渇水被害額原単位の違いが被害額に与える影響について検討していく。

$$P = 2500 \quad (0 < S < 30) \quad (4.4)$$

$$P = 13500 - \frac{330000}{S} \quad (S \geq 30) \quad (4.5)$$

P: 渇水被害額原単位(円/トン)、S: 不足率(%)

4. 4. 2 渇水被害額原単位の不確かさが被害額に与える影響

ここでは、まず標準設定を用いた場合の評価A、評価Bにおける渇水被害額を比較し、さらに被害額原単位の不確かさが評価に与える影響が大きいと考えられるダム群運用時の最大取水制限率及び取水制限開始貯水量を変化させた場合について、評価A、評価Bで比較、検討する。

(1) 標準設定における比較

Standardの評価指標のうち、評価A、評価Bにおける渇水被害額を表4-36に示す。被害額原単位が評価Bの方が大きいため、評価Bの被害額は評価Aの約2倍くらいになっている。

表4-36 Standardにおける渇水被害額(億円/年)

	評価A	評価B
流域内	147	292
最下流地点	2559	5513
利根導水路	2474	5293
総被害額	5180	11090

表4-37には評価Aで洪水被害額が大きい10の上水道事業者の洪水被害額を示す。全ての事業者で評価Bの方が洪水被害額が大きくなっているが、評価Aに対する評価Bの比で検討すると上水道事業者間で差があり、供給人口が大きい高崎市や前橋市、あるいは洪水被害（%・日）に対して評価Aでは被害額が小さかった榛東村、箕郷町などが大きくなっている。このことから、例えば高崎市や前橋市などの洪水被害軽減に効果がある施策を行った場合、評価Aに比べて評価Bの方がその効果を大きめに表してしまうことがわかる。

表4-37 Standardにおける主な上水道事業者の洪水被害額

上水道 事業者名	洪水被害 (%・日)	洪水被害額 (百万円/年)		洪水被害額の比 評価B/評価A
		評価A	評価B	
桐生市	3814	4401	12021	2.7
沼田市	3454	466	1435	3.0
野木町	3577	284	750	2.6
高崎市	885	144	2477	17.2
前橋市	512	90	1508	16.8
大間々笠懸	1406	56	589	10.5
月夜野町	3155	20	177	8.9
榛東村	2017	18	285	15.8
箕郷町	2456	16	271	16.9
古河市	412	15	310	20.6

(2) 最大取水制限率を変化させた場合

図4-21、22に、評価A、Bについてそれぞれ最大取水制限率による洪水被害額の変化の様子を示す。評価A、Bとも最大取水制限率を高くすると流域内と利根導水路の被害額は増加、最下流地点は減少している。しかし総被害額について見ると、評価Aでは最大取水制限率が40～50%で最も小さくなっているのと比べて、評価Bでは最大取水制限率が低くした方が小さくなっている。これは、最大取水制限率の変化に伴う利根導水路の被害額の増加量が評価Bでは評価Aに比べて大きくなっているためである。

(3) 取水制限開始貯水量を変化させた場合

図4-23、24に、評価A、Bについてそれぞれ取水制限開始貯水量による洪水被害額の変化の様子を示す。評価Aでは取水制限開始貯水量を大きくすると流域内の被害額は増加、最下流地点と利根導水路は減少しており、総被害額では減少している。一方評価Bでは取水制限開始貯水量を大きくすると被害額は全て増加している。これは、評価Bでは取水制限率が低いときでも被害額原単位が大きいので、取水制限期間が長くなると取水制限率が低くても被害額が大きくなってしまうことによる。

以上のように2種類の被害額原単位を用いたシミュレーション結果を比較したが、採用した原単位によって全く違った結果が得られることからこの原単位の精度をあげることが重要である。この原単位は各家庭であるいは地域、時間の流れとともに変化し、また2次的な被害（不快感など）も考慮に入れると個人差も出てくるので定量化が難しいのであるが、調査・研究を積み重ねてより一般的な原単位を算出していく必要があるであろう。山内が算出した原単位を本研究で用いるにはさらに加工が必要であることと、農業用に関して値が示されていないことから、中澤らの算出した原単位をもとにした評価Aを用いて洪水被害額を算出していくことにする。

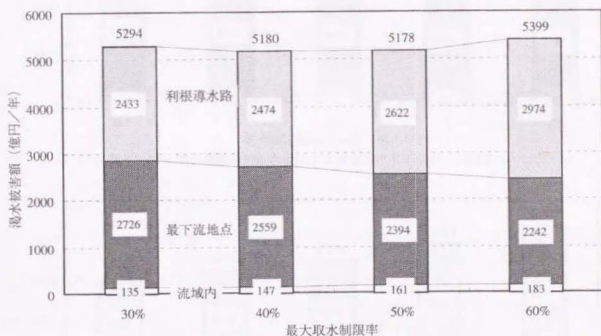


図4-21 最大取水制限率による洪水被害額の変化（評価A）

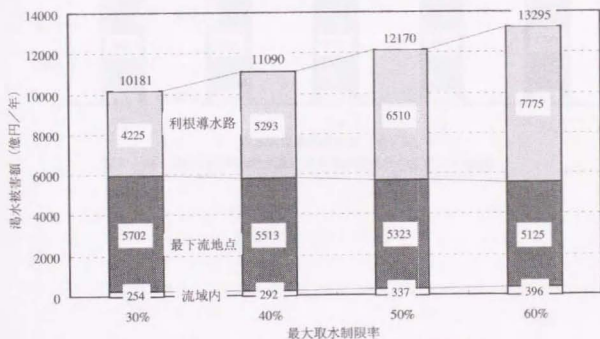


図4-22 最大取水制限率による洪水被害額の変化（評価B）

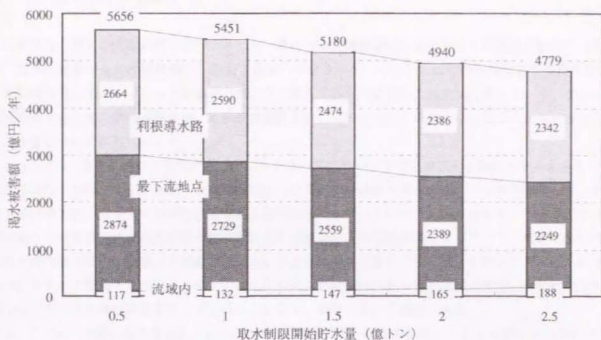


図 4-23 取水制限開始貯水量による洪水被害額の変化 (評価A)

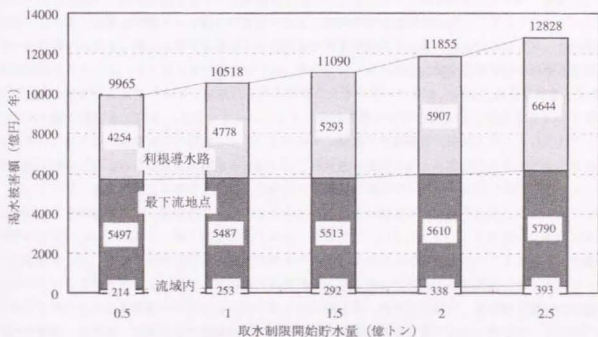


図 4-24 取水制限開始貯水量による洪水被害額の変化 (評価B)

4. 5 第4章のまとめ

本章では、現在の状況を表したパラメーター群について標準設定を定めてその再現性を検討するとともに、既存の統計データや研究例から確定できないパラメーターについてはその不確かさの範囲を仮定し、その範囲内でシミュレーション結果がどのように変化するかを検討し、相互に比較している。また、自然発生流量系列やダム群の運用方法、洪水被害額原単位についても、その違いによるシミュレーション結果への影響について検討している。

4. 1では、以上に述べた確定できるパラメーター群についてその標準設定と設定方法を示すとともに、標準設定により行ったシミュレーション結果について実際の状況を再現できているかを検証した。水量に関しては年単位で考えると実際の状況がある程度再現できているものと考えられるが、半旬単位では第3章で述べた自然発生流量系列自体が持つ問題点の影響がでて再現性が悪くなっている。水質についてはダム内や河川流下時の水質変化を考慮していないことにより、上流部では水質をやや小さく評価し、下流部ではやや大きく評価する傾向がある。これらは今後、自然発生流量の算出方法の改良、水質変化モデルの導入などモデル自体の改良を行っていくことにより、検討していく課題である。

4. 2では、水量に関する設定として、自然発生流量系列、既存の統計データから確定できないパラメーター群、ダム群の運用方法について、その標準設定と設定方法を示すとともにその値の不確かさの範囲、もしくは他の運用方法等を仮定して、それらによるシミュレーション結果の変化について検討し、相互に比較している。洪水被害額という観点で比較すると、自然発生流量系列の違いによるシミュレーション結果への影響が大きく、同じ条件で算定された自然発生流量系列でも乱数のばらつきにより、被害額には大きな差ができていく。パラメーター群の中では、水田における水利利用に関する原単位や利根川水系における導水量などがシミュレーション結果に与える影響が大きくなっており、利根川水系を対象とした場合、これらの値の精度を上げることがシミュレーション結果の精度の向上に大きく影響するものと考えられる。また、ダム群の運用方法の設定もシミュレーション結果への影響が比較的大きくなっており、被害額を正確に推定するためにはダム群運用方法について再現性を高めていく必要があるものと考えられる。

4. 3では、水質に関する設定として、原単位など既存の統計データから確定できないパラメーター群について、その標準設定と設定方法を示すとともにその値の不確かさの範囲を仮定してシミュレーション結果の変化について検討し、相互に比較している。BOD、COD、TN、TPについてその75%値を用いて比較すると、畜産業の排出汚濁負荷原単位がその値の不確かさの範囲が広いことから与える影響が他と比べて大きくなっていく。また、汚濁負荷の流達率も下水道以外の全ての負荷量にかかるパラメーターであることから与える影響が大きくなっていく。この他にも、水質項目別で、有機物指標では生活系の雑排水や水田、市街地、山林などの原単位、TNについては下水処理水質や畑地の原単位、TPについては下水処理水質や雑排水の原単位が与える影響が大きくなっており、これらを正確に推定していく必要があると考えられる。

4. 4では、評価指標の一つである洪水被害額について洪水被害額原単位を変更したときの影響を、標準設定について、最大取水制限率、取水制限開始貯水量を変えたときについて検討している。被害額原単位は地域あるいは時間とともに変化するもので正確に推定することが難しく、過去の研究例をもとに被害額を比較した場合2倍程度の差がある。また、最大取水制限率や取水制限開始貯水量を変えた場合に採用した被害額原単位によって評価が変わっており、より多くの調査・研究例を参考にしてこの原単位を決定する必要があるものと考えられる。

第4章の参考文献、参考資料

- 1) 茨城県統計年鑑、平成3年版
- 2) 栃木県統計年鑑、平成3年版
- 3) 群馬県統計年鑑、平成3年版
- 4) 埼玉県統計年鑑、平成3年版
- 5) 工業統計・市町村編、平成元年版
- 6) 水道統計、平成元年度版
- 7) 下水道統計、平成元年度版
- 8) 建設省河川局編：多目的ダム管理年報、昭和62年
- 9) 国土庁長官官房水資源部編：日本の水資源、平成7年版、1995
- 10) 河川水質年鑑、昭和58～63年、平成元～3年版
- 11) 建設省都市局下水道部：流域別下水道整備総合計画調査・指針と解説、日本下水道協会編、1993
- 12) 工業統計・用地用水編、平成元年版
- 13) 岡本雅美・佐藤政良：日本における水田用水の水文・水資源学的特性、水文・水資源学会誌、Vol.3、No.1、pp.1-6、1990
- 14) 建設省関東地方建設局利根川ダム統合管理事務所：利根川上流ダム群の概要
- 15) 高橋裕編：首都圏の水ーその将来を考えるー、東京大学出版会、1993
- 16) 安中徳二：凝集剤添加による下水処理施設の機能改善に関する研究、東京大学博士論文、1995
- 17) Mogens Henze： Wastewater Nitrogen and Phosphorus Removal Management and Control in Europe、水環境学会誌、Vol.18、No.3、pp.171-176、1995
- 18) 中澤武仁・今村瑞穂・石崎勝義・中村昭：渇水時の水管理に関する計画学的研究：土木研究所資料1508号、1979
- 19) 山内彪：渇水被害の定量的評価手法について、ダム技術、No.44、pp.5-13、1990

第5章 個々の流域管理施策の効果の定量化に関する考察

本章では、本研究で構築したモデルを用いて個々の流域管理施策の効果定量化する方法について検討している。具体的には利根川水系における節水対策やダム建設、下水道整備などの各施策の効果について定量化し、個々の施策の特性を検討するとともに相互比較を行う。そのために前章で述べた標準設定から、各施策による状況の変化をパラメーター等を変更することにより表現してシミュレーションを行い、得られた結果と標準設定による結果の差を利用してその効果を検討する。

5. 1 では、水量安定化に関する施策として、各用途ごとの節水やダム建設、上水道における有効給水率の改善、下水処理水の再利用について個別に施策の効果を検討し、これに4章で行った河川維持流量の変更やダム群の運用方法の変更による効果も加えて各施策を相互に比較し、考察を行う。

5. 2 では、水質保全に関する施策として、下水道の普及や処理水質の改善、合併浄化槽の普及や汚濁負荷の削減、農業での汚濁負荷削減について個別に施策の効果を検討し、その効果を相互に比較し、考察を行う。

5. 3 では、本章で得られた知見をまとめている。

5. 1 水量安定化に関する施策の効果

本節では、水量安定化に関する施策として、節水、ダム建設、上水道事業体における有効給水率の引き上げ、下水処理水の再利用、河川維持流量の変更、ダム群運用方式の変更、について個別に効果を検討し、相互に比較することによって、その施策の効果の特徴などを考察する。

5. 1. 1 節水に関する施策の効果

ここではまず生活系、製造業系、農業系の用途別に節水の効果を検討し、そして全体の節水の効果をまとめる。

(1) 生活系水利用における節水の効果

生活系水利用における節水策としては、節水機器の普及、雨水の利用、利用者の節水意識の向上などがある。これらの対策を生活系水利用の減少として取り扱うことで、生活系水利用における節水の効果を検討する。

家庭における目的別の使用水量に関してはさまざまな調査・研究がなされているが、山田¹⁾は表5-1に示すようにまとめている。この表から、例えば水洗便所については全量雨水を利用するようにすれば約15%の水量削減効果があることがわかる。ここでは、この表より水洗便所等への雨水の利用や洗濯用水の削減などで15%程度の節水は可能であると考えて、15%の節水ならびに5%の節水を流域内を対象として行った場合と、利根導水路における生活系取水量や栗橋地点基準流量における下流部の生活系取水量に

ついても節水を行った場合の4通りの節水について検討を行う。

よって、水使用量原単位を変更することにより、

Run85：対象流域内において節水による使用量の削減効果が5%とする、

Run86：対象流域内において節水による使用量の削減効果が15%とする、

Run87：対象流域内ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における生活系取水の節水による使用量の削減効果が5%とする、

Run88：対象流域内ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における生活系取水の節水による使用量の削減効果が15%とする、

の4条件でシミュレーションを行い、Standardとの差を比較する。4. 2でも述べたが、水使用量原単位を削減することにより水需要量が減少するので、それにあわせて計画取水量も削減しなければならない。この時なるべく河川取水や自然発生流量からの取水量が減るように計画取水量を変更している。

表5-2に評価指標の一部と対象流域内の生活系取水量についてStandardとの差を示す。生活系取水量は5%の節水で約2千万トン、15%の節水で6千万トン弱の減少となっている。Run85、Run86の対象流域内のみの節水では農業系の渇水被害はほとんど減少していないが、対象流域外での節水も含めたRun87やRun88では農業系の渇水被害は減少している。流域内のみで15%の節水をした場合と流域外も含めて5%の節水をした場合では、総被害額の減少や低水流量の増加では同じような値になっている。

表5-2 生活系の節水による各評価指標の変化

		Run85	Run86	Run87	Run88
生活系取水量 (百万トン/年)		-21	-59	-20	-58
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-17	-47	-27	-73
	流域内製造業系	-1	-2	-2	-5
	流域内農業系	-1	0	-13	-35
	最下流地点	-75	-200	-169	-461
	利根導水路	-27	-72	-159	-461
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-4	-10	-8	-22
	最下流地点	-51	-144	-232	-644
	利根導水路	-143	-396	-277	-753
	総被害額	-198	-551	-517	-1419
地下水収支 (百万トン/年)		-4	-12	-6	-18
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		0.30	0.84	0.82	2.51
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		-0.01	-0.03	0.00	-0.02

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

表5-1 家庭用水の目的別使用水量の構成比 (%)

A市 (1989)		各市 (1975-1985)	
使用目的	比率	使用目的	比率
炊事	18.4	炊事	17.2
水洗便所	15.5	水洗便所	14.7
洗濯	21.7	洗濯	27.2
風呂	21.5	風呂・シャワー	20.7
シャワー	3.9		
洗面	2.8	洗面・手洗	9.3
その他	16.2	その他	10.9
原単位 (ℓ)	232	原単位 (ℓ)	219

※ 山田¹⁾より抜粋

(2) 製造業系水利用における節水の効果

製造業系水利用においては製造コストの削減のために、単純に水利用を減少させることの他に、場内でのリサイクル率を上げることや、海水の利用などにより節水を行ってきた。図5-1に示したように回収率は近年横這いとなってきているが、用水量は変化していないのにも関わらず製造業の生産量が伸びている事を考えると出荷額当たりの用水量は徐々に減っている。ここでは水使用量原単位を変更することにより、5%と10%の節水を対象流域内でのみ行った場合と流域外も含めて行った場合の4通りについて検討する。

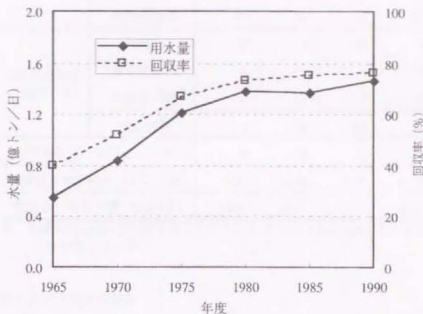


図5-1 工業用水量、回収率の経年変化(流総調査²⁾より抜粋)

Run89: 対象流域内において節水による使用水量の削減効果を5%とする、

Run90: 対象流域内において節水による使用水量の削減効果を10%とする、

Run91: 対象流域内ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における製造業系取水の節水による使用水量の削減効果を5%とする、

Run92: 対象流域内ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における製造業系取水の節水による使用水量の削減効果を10%とする、

の4条件でシミュレーションを行い、Standardとの差を比較する。これら4条件では水需要量が減少するのでそれに合わせて計画取水量も削減しなければならない。よって4章のRun9の場合と同様になるべく河川や自然発流流量からの計画取水量を削減することとする。ただし、Run9の場合と違い表流水や地下水の取水可能量の変更は行わない。

表5-3に評価指標の一部と対象流域内の製造業系取水量についてStandardとの差を示す。製造業系取水量は5%の節水で1.6千万トン、10%の節水で3.4千万トンの減少となっている。流域内の製造業系以外の漏水被害、被害額について、5%の節水の場合は横這いか若干削減される傾向にあるのに10%の節水になると被害が大きくなっている。また、流域内だけで節水を行う場合より流域外も含めて節水を行った方が被害が削減されている。このようなことが起こる原因は、4.2でも述べたが流域内の節水では製造業系における地下水への依存度が高いために地下水取水量が減り、そのために河川流量が不安定になり、他の用途の被害が大きくなってしまいう状況が起こっているからである。

表5-3 製造業系の節水による各評価指標の変化

		Run89	Run90	Run91	Run92
製造業系取水量(百万トン/年)		-16	-34	-16	-34
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	0	3	-1	2
	流域内製造業系	-22	-33	-22	-33
	流域内農業系	-1	3	-2	1
	最下流地点	3	40	-3	28
	利根導水路	-3	35	-9	21
渇水被害額 (億円/年)	流域内	0	1	-1	1
	最下流地点	4	71	-4	57
	利根導水路	-4	39	-8	30
	総被害額	0	112	-13	88
地下水収支(百万トン/年)		0	-19	0	-19
栗橋地点低水流量(トン/秒)		-0.03	-0.36	-0.03	-0.34
栗橋BOD75%値(mg/Q)		-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

(3) 農業系水利用における節水の効果

農業系水利用においては、水利用の合理化として田植えの時期などをずらしたり、農業用水路の改修などにより水利用を効率的に行うことにより節水を行ってきており、今後のこのような対応が必要であるものと思われる。具体的にどの程度の節水が見込まれるかは場所によって大きな差があり推定するのは困難である。よって、ここでは水田の水使用量原単位を変更することにより、5%と10%の節水を対象流域内でのみ行った場合と流域外も含めて行った場合の4通りについて検討する。

Run93:対象流域内において節水による使用水量の削減効果を5%程度とする、

Run94:対象流域内において節水による使用水量の削減効果を10%程度とする、

Run95:対象流域内ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における農業系取水の節水による使用水量の削減効果を5%程度とする、

Run96:対象流域内ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における農業系取水の節水による使用水量の削減効果を10%程度とする、

の4条件でシミュレーションを行い、Standardとの差を比較する。

表5-4に評価指標の一部と対象流域内の農業系取水量についてStandardとの差を示す。農業系取水量は5%の節水で約7千万トン、10%の節水で約17千万トンとなっている。流域内のみで10%の節水をした場合(Run94)と流域外も含めて5%の節水をした場合(Run95)では、総被害額の減少や低水流量の増加では同じような値になっている。地下水収支が全般的に悪化しているが、これは地下水取水量の増加によるものではなく、水田における地下水涵養量の減少によるものである。

表5-4 農業系の節水による各評価指標の変化

		Run93	Run94	Run95	Run96
農業系取水量 (百万トン/年)		-67	-169	-65	-166
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-4	-9	-9	-18
	流域内製造業系	-1	-2	-2	-4
	流域内農業系	-33	-75	-45	-97
	最下流地点	-21	-48	-65	-136
	利根導水路	-36	-81	-103	-214
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-12	-25	-14	-30
	最下流地点	-36	-82	-77	-166
	利根導水路	-27	-59	-67	-144
	総被害額	-75	-167	-158	-340
地下水収支 (百万トン/年)		22	55	20	52
架橋地点低水流量 (トン/秒)		0.13	0.35	0.32	0.69
架橋BOD75%値 (mg/ℓ)		0.01	0.02	0.01	0.02

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

(4) 節水に関する効果のまとめ

以上に生活系、製造業系、農業系の用途ごとの節水による効果を検討したが、ここではそれぞれ5%の節水時のデータを用いて用途ごとの節水効果の傾向について検討する。生活系、製造業系、農業系で5%節水をしたときの流域内、最下流地点、利根導水路導水量の渇水被害額のStandardとの比を、図5-2では対象流域内でのみ節水した場合について、図5-3では流域外も含めて節水した場合について示す。

生活系の節水では利根導水路における被害の減少が他の被害より大きくなるのに対し、農業系の節水では流域内における被害の減少が大きくなっている。流域外も含めると全般的に被害がさらに減少するが、特に生活系節水における最下流地点と利根導水路の被害については流域内のみの節水時からの減少量が多い。これは3.4で説明したように生活系の被害額は他と比べて不足率による変動が激しいので利根導水路や最下流地点での生活系水利用を削減することによる被害額の削減効果が大きいためである。

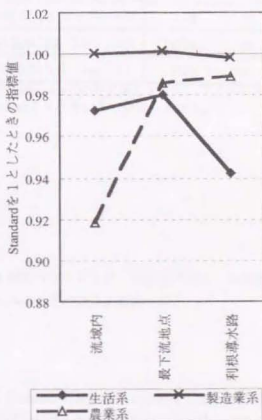


図5-2 各用途における流域内での節水効果の傾向

これらをまとめて、全用途について5%の節水を行うようにした

Run97:対象流域内において全用途の節水による使用水量の削減効果を5%とする、

Run98:対象流域内ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における全用途の節水による使用水量の削減効果を5%とする、

という2条件でシミュレーションを行い、その結果算出された評価指標の一部についてStandardとの差を表5-5に示す。渇水被害などの評価指標の変化量は、用途別節水のシミュレーションで算出された生活系、製造業系、農業系のそれぞれにおける変化量の和とはほぼ同じような値になっている。

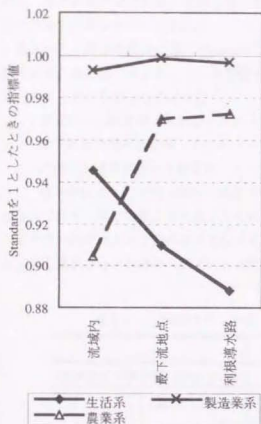


図5-3 各用途における流域外も含めた節水効果の傾向

表5-5 全用途における節水による評価指標の変化

		Run97	Run98
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-21	-36
	流域内製造業系	-23	-24
	流域内農業系	-33	-57
	最下流地点	-93	-236
	利根導水路	-66	-271
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-15	-22
	最下流地点	-82	-307
	利根導水路	-172	-346
	総被害額	-269	-675
地下水収支 (百万トン/年)		18	15
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		0.39	1.16
栗橋BOD75%値 (mg/Q)		-0.01	-0.01

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

5. 1. 2 ダム建設にともなう効果

本節では、既存の6ダムについて各ダムが与えている影響を検討するとともに、現在建設中もしくは共用が開始された渡良瀬、奈良俣、戸倉、八ツ場の4つのダムについてその効果を検討する。

(1) 既設のダムの効果

既存の6ダムがない場合についてシミュレーションを行い、Standardの評価指標との差をとることにより、各ダムの与えている影響を検討する。ダムの効果は、そのダムの利水容量、平均的な流入量、位置などの条件に左右されていると考えられるので、表5-6に6ダムの利水容量、年間流入量とダム貯水量を満水にするのにかかる日数を示しておく。そして

Run99: 矢木沢ダムの貯水容量を0とする、
 Run100: 藤原ダムの貯水容量を0とする、
 Run101: 相保ダムの貯水容量を0とする、
 Run102: 蘭原ダムの貯水容量を0とする、
 Run103: 下久保ダムの貯水容量を0とする、
 Run104: 草木ダムの貯水容量を0とする、
 という6条件でシミュレーションを行う。ただし、取水制限開始貯水量は総貯水量の減少した比率だけ減らすことにする。

表5-7に評価指標の一部のStandardとの差を示す。各指標ごとに与えている影響が大きい方からダム名を示していくと、

流域内洪水被害額: 矢木沢→草木→下久保→相保→藤原→蘭原

最下流地点洪水被害額: 矢木沢→下久保→草木→藤原→相保→蘭原

利根導水路導水量洪水被害額: 矢木沢→下久保→草木→藤原→相保→蘭原

地下水収支: 矢木沢→草木→藤原→相保→下久保→蘭原

となっており、利水容量と流入量とともに大きくて、対象流域内の最上流部に位置して流域全体に影響を与えやすい矢木沢ダムが他のダムと比べて非常に大きな影響を与えている。利水容量では大きい下久保ダムは流入量が少ないので矢木沢ダムと比較すると効果が小さくなっている。

表5-6 各ダムの利水容量、年間流入量と充填必要日数

	利水容量 (百万トン) A	年間流入量 (百万トン) B	充填必要日数 (日) A/B×365
矢木沢	115.50	500	84
藤原	31.01	252	45
相保	20.00	170	43
蘭原	13.22	365	13
下久保	120.00	201	218
草木	50.50	344	54

※ 年間流入量は多目的ダム管理年報³⁾の1978～87年の値を用いて算出。

表5-7 既設のダムのない場合による各評価指標の変化と利水容量の減少量

		Run99	Run100	Run101	Run102	Run103	Run104
利水容量の減少量 (千万トン)		11.55	3.10	2.00	1.32	12.00	5.05
洪水被害 (%・日)	流域内生活系	114	52	27	28	56	67
	流域内製造業系	23	7	3	3	13	6
	流域内農業系	289	84	76	15	62	102
	最下流地点	1069	341	292	89	516	337
	利根導水路	1535	601	364	168	656	603
洪水被害額 (億円/年)	流域内	81	26	28	18	30	64
	最下流地点	1820	545	387	178	1210	737
	利根導水路	1618	478	321	193	1504	530
	総被害額	3520	1049	735	389	2745	1331
地下水収支 (百万トン/年)		39	12	9	2	8	18
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-4.20	-1.05	-1.39	-0.08	-0.66	-0.47
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		0.08	0.01	0.05	0.00	-0.01	-0.01

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

(2) 新設のダムの効果

表5-8に示した4つのダムについて、その効果を検討する。

Run105：渡良瀬貯水池を新設した場合、

Run106：奈良俣ダムを新設した場合、

Run107：戸倉ダムを新設した場合、

Run108：八ツ場ダムを新設した場合、

ただし、奈良俣、戸倉、八ツ場の3ダムの集水域は、それぞれ藤原流域、園原流域、村上流域の一部分であるため、流入水量は面積比で藤原、園原、村上各流域の自然発生流量からふりわけられるものとする。

表5-8 新規の各ダムの概要

	概要	
渡良瀬	位置：渡良瀬川流域 竣工年：平成2年	集水面積：2620.0km ² 利水容量：2640万トン 夏期利水容量：1220万トン
奈良俣	位置：奥利根流域 竣工年：平成3年	集水面積：95.4km ² 利水容量：8500万トン 夏期利水容量：7200万トン
戸倉	位置：片品川流域	集水面積：約72km ² 有効水量：6400万トン
八ツ場	位置：吾妻川流域	利水容量：9000万トン 予定工期：平成12年

表5-9に評価指標の一部のStandardとの差を示す。各指標ごとに改善効果が大きい方からダム名を示していくと、

流域内洪水被害額：八ツ場→奈良俣→戸倉→渡良瀬

最下流地点洪水被害額：八ツ場→渡良瀬→奈良俣→戸倉

利根導水路導水量洪水被害額：八ツ場→奈良俣→戸倉→渡良瀬

地下水収支：八ツ場→奈良俣→戸倉→渡良瀬

となっており、利水容量が大きくて直上流あるいは直下流に既設のダムがない八ツ場ダムが他のダムと比べて非常に大きな効果を与えている。奈良俣ダムや戸倉ダムも利水容量では大きいのであるが、直下流に既設のダムがあることや流入量が少ないことから八ツ場ダムと比べると効果は小さい。逆に渡良瀬貯水池は利水容量は小さいが、対象流域内の下流部にあり流入量が非常に大きくなっているため効果も大きくなっている。

図5-4には各シミュレーションにおける平均総貯水量の推移を示す。いずれの場合もStandardより貯水量は多くなっているが、渡良瀬貯水池を新設した場合は冬から春にかけて特に3月においてStandardからの貯水量の増加量が大きい。奈良俣ダムを新設した場合と戸倉ダムを新設した場合は比較的同じような値となっているが、5月から8月くらいにかけて奈良俣ダムを新設した場合の方が貯水量が大きくなる。八ツ場ダムを新設した場合は年間通してだいたい1億トン弱程度貯水量が多くなっている。

(3) ダム建設による効果のまとめ

昭和63年に変更された「利根川水系及び荒川水系の水資源開発基本計画」では、ここでシミュレーションを行った新設4ダムの2000年における供給目標は、渡良瀬貯水池：2.5(トン/秒)、奈良俣ダム：6.9(ト

表5-9 ダム新設による各評価指標の変化と利水容量の増加量

		Run105	Run106	Run107	Run108
利水容量の増加量 (百万トン)		2.64	8.50	6.40	9.00
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	-78	-65	-62	-121
	流域内製造業系	-11	-10	-10	-16
	流域内農業系	-76	-116	-98	-152
	最下流地点	38	-175	-145	-745
	利根導水路	-768	-758	-686	-1347
渇水被害額 (億円/年)	流域内	-19	-34	-29	-52
	最下流地点	-739	-540	-481	-1020
	利根導水路	-433	-506	-474	-933
	総被害額	-1191	-1080	-984	-2004
地下水収支 (百万トン/年)		-14	-18	-15	-26
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-3.03	-0.24	-0.27	2.72
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		-0.03	0.00	0.01	-0.01

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

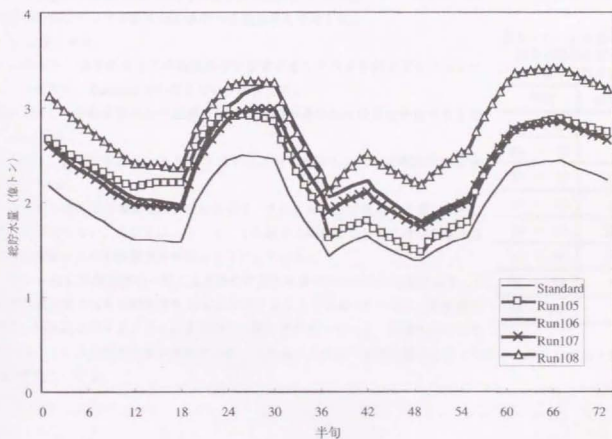


図5-4 各シミュレーションにおける平均総貯水量の推移

ン/秒)、戸倉ダム:1.7(トン/秒)、ハツ場ダム:14.1(トン/秒)となっており⁴⁾、各ダムの開発水量の間には差がある。一方、前項の新設ダムのシミュレーション結果による洪水被害の削減効果は、ハツ場ダムは他と比べて大きいものの、あとの3ダムについてはその効果にそれほど差がなく、基本計画における供給目標とは違った結果になっている。

1995年現在、すでに渡良瀬貯水池、奈良俣ダムは供用を開始されているので、この2ダムを加えたシミュレーションをRun109として行い、その結果算出された評価指標の一部のStandardとの差を表5-10に示す。この結果は単純にRun105とRun106の足し算にはなっておらず、それより若干小さい値となっている。つまり、6ダムある状態にダムを新設する場合と、7ダムある状態にダムを新設する場合では、7ダムの方が効果が小さくなっており、水資源開発が進むほど洪水被害の削減効果は小さくなっている。

5.1.3 上水道の有効給水率の改善に関する効果

上水道の配水施設を改修して無効給水量を減らすことにより、洪水被害の削減効果が期待される。対象流域内の88の上水道事業体についてその有効給水率の度数分布と平均を表5-11にまとめる。

これから、以下のように有効給水率を改善するシナリオを用いてシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。

Run110:有効給水率が85%未満の61の上水道事業体における有効給水率を85%にする。

Run111:有効給水率が90%未満の75の上水道事業体における有効給水率を90%にする。

これらの2条件では水需要量が変わるので、それに合わせて計画取水量を変更しなければならない。ここでは、5.1.1の場合と同様になるべく河川取水や自然発生流量からの計画取水量が減るようにしている。

表5-12に評価指標の一部と上水道の年間取水量のStandardとの差を示す。上水道の取水量では有効給水率を85%以上にすることで年間3.5千万トン取水量が減り、90%以上にするとさらに3千万トン取水量が減っている。有効給水率を改善することにより河川流量は増加するが、上水道による地下水涵養量が少なくなることにより、地下水収支が悪化している。

表5-10 ダム新設による各評価指標の変化と利水容量の増加量

		Run109
利水容量の増加量(百万トン)		11.14
洪水被害 (%・日)	流域内生活系	-123
	流域内製造業系	-17
	流域内農業系	-159
	最下流地点	-281
	利根導水路	-1334
洪水被害額 (億円/年)	流域内	-47
	最下流地点	-1149
	利根導水路	-858
	総被害額	-2055
地下水収支(百万トン/年)		-26
架橋地点低水流量(トン/秒)		-1.33
架橋BOD75%値(mg/ℓ)		-0.06

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

表5-11 上水道事業体の有効給水率の平均値と度数分布

平均	81%
～ 65	4
65 ～ 70	5
70 ～ 75	11
75 ～ 80	12
80 ～ 85	29
85 ～ 90	14
90 ～ 95	9
95 ～ 100	4

表5-12 有効給水率の改善による各指標の変化

		Run110	Run111
上水道取水量 (百万トン/年)		-35	-65
漏水被害 (%・日)	流域内生活系	-37	-66
	流域内製造業系	-2	-3
	流域内農業系	-5	-9
	最下流地点	-184	-302
	利根導水路	-94	-174
漏水被害額 (億円/年)	流域内	-8	-14
	最下流地点	-165	-313
	利根導水路	-341	-606
	総被害額	-515	-933
地下水収支 (百万トン/年)		12	23
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		0.94	1.51
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		-0.02	-0.04

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

表5-13 下水処理水の再利用による評価指標の変化

		Run112	Run113
再利用水量 (百万トン/年)		6	12
漏水被害 (%・日)	流域内生活系	-38	-71
	流域内製造業系	-1	-1
	流域内農業系	-1	-4
	最下流地点	-1	-40
	利根導水路	0	2
漏水被害額 (億円/年)	流域内	-9	-19
	最下流地点	1	3
	利根導水路	1	5
	総被害額	-7	-12
地下水収支 (百万トン/年)		-2	-4
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		-0.01	0.25
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		-0.01	-0.02
栗橋COD75%値 (mg/ℓ)		-0.01	-0.03
栗橋TN75%値 (mg/ℓ)		-0.03	-0.07
栗橋TP75%値 (mg/ℓ)		-0.002	-0.003
栗橋BOD超過確率 (%)		-0.1	-0.2

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

5. 1. 4 下水処理水の再利用の効果

下水道において二次処理水を高度処理して、上水道の代わりに水洗便所の用水や修景用水などに用いることにより、生活系取水量の削減ははかられている。対象流域内の下水処理場では伊香保町公共下水道の物期沢処理場においてのみ429 (トン/日) の処理水が再利用されている。(1990年実績) ここでは、処理水のうち約5～10%程度再利用を行うとして、

Run112: 各下水処理場において処理水の5%を上水道において再利用する、

Run113: 各下水処理場において処理水の10%を上水道において再利用する、

という条件でシミュレーションを行い、Standardとの差について検討する。なお、水需要量の変化には前節と同様になるべく河川取水や自然発生流量からの計画取水量が減らすことにより対応している。

表5-13に評価指標に一部と再利用水量のStandardとの差を示す。再利用率10%で再利用水量は1.2千万トン増えており、流域内の上水道取水量の1～2%を占めるようになる。この時、漏水被害は流域内生活系や最下流地点で減少しているが、被害額では流域内で減少するだけで、利根導水路導水量や最下流地点では変化しないので、総被害額ではほとんど影響がでない。

栗橋地点の水質では処理水の減少により水質が各項目とも少しずつ改善されているが、特に大きな変化ではない。

5. 1. 5 水量安定化に関する施策の効果のまとめ

ここまで各施策ごとにその効果の検討を行ってきたが、ここではそのうちいくつかを取り上げて相互に比較を行う。取り上げるのは、流域外も含めた15%の生活系節水 (Run88)、流域外も含めた5%の全用途の節水 (Run98)、渡良瀬貯水池の新設 (Run105)、ハツ場ダムの新設 (Run108)、上水道の有効給水率を90%以上に改善 (Run111)、下水処理水の10%を再利用 (Run113)、河川の維持流量を各地点で20%削減 (Run28)、ダム群放流量を決定するうえでの最下流地点の基準流量を10%削減 (Run30)、の8つである。

これらの施策における流域内、最下流地点、利根導水路導水量の渇水被害額について、Standardを1とした時の比を図5-5に示す。すべての被害額においてハツ場ダム新設の効果が最も大きく、各被害額とも3分の1以上削減されている。その他では、流域内の被害額では生活系の15%節水や全用途の5%節水、最下流地点の被害額では渡良瀬貯水池新設、ダム群放流量の基準流量10%削減、生活系の15%節水、利根導水路導水量では生活系の15%節水、有効給水率の改善、などが被害額の削減量が大きいの。

各施策における地下水収支のStandardとの差を図5-6に示す。地下水収支が改善されているのはハツ場、渡良瀬などのダム新設や生活系の15%節水で、逆に悪化しているのは有効給水率や全用途の5%節水などである。

これらのことから総合すると、渇水被害や地下水収支への効果という意味ではダム新設の効果は大きく、また節水も生活系で15%程度まで行えば、同程度の効果が得られることがわかる。また、最下流の基準流量の決定方法などダム群の運用方法の選択もダム新設ほどではないものの被害額に影響を与えており、最適な運用方法を行っていくことが重要であると考えられる。上水道の有効給水率の改善や全用途における節水では地下水収支がプラスになって取水量が増えていること (涵養量が減っていること) から、これらの影響をよく考慮する必要があるだろう。

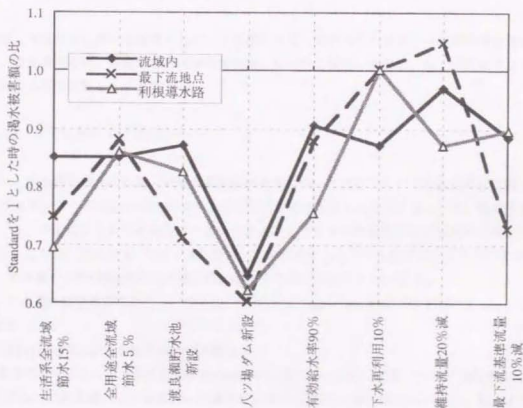


図5-5 水量安定化に関する施策による渇水被害額の変化

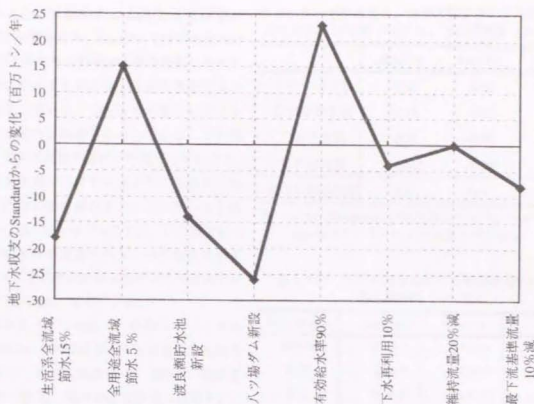


図5-6 水量安定化に関する施策による地下水収支の変化

5. 2 水質保全に関する施策の効果

本節では、水質保全に関する施策として、下水道の普及と処理水質の改善、合併浄化槽の普及と処理水質の改善、畜産業や水田、畑地からの汚濁負荷削減、について個別に検討し、相互に比較することによってその施策の効果の特徴などを考察する。

5. 2. 1 下水道による効果

ここでは、下水道の普及の効果、処理水質改善の効果について検討する。下水道の普及に関しては下水道統計(1990年)³¹⁾での計画人口に相当する分だけ下水道が普及したと考える。一方、処理水質の改善では4. 3. 1で考えたように下水処理場で用いられるさまざまな処理形態における放流水質の期待値を参考にBOD、COD、TNは10 (mg/ℓ) 以下、TPは0.5 (mg/ℓ) 以下になるようにする。よって

Run114: 下水道を1990年時点での計画人口に相当する分だけ普及させた場合、

Run115: 下水道の処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/ℓ) 以下、TPは0.5 (mg/ℓ) 以下とした場合、

Run116: Run114とRun115を組み合わせた場合、

という3条件でシミュレーションを行い、Standardとの差を用いてその効果について検討する。Run114及びRun116では、対象流域内の下水道人口は標準設定の約72万人(普及率23%)から、約121万人(普及率39%)に増えることになる。

表5-14に栗橋地点における水質指標のStandardとの差を示す。Run114では下水道人口を約50万人増やした効果が有機物指標に現れており、逆にTNやTPでは下水道の普及により水質が悪化している。これはくみ取りにおけるし尿の取り扱いが省略されていること、下水道のTN、TPの処理水質がやや高いことにより、TN、TPに関しては下水道よりくみ取りで処理を行った方が負荷量が小さくなっているためである。一方、Run115ではBOD、CODではそれほど処理水質が改善されないで変化は小さいが、TN、TPでは処理水質がかなり改善されるので変化が大きくなっている。

下水道普及による水量への影響についてであるが、Standardとの差を考えると被害額で流域内が-1(億円)、最下流地点が-28(億円)、利根導水路が-37(億円)、地下水収支が10(百万トン/年)となっており、地下水から下水道への混入水量が増えるために河川流量が安定し、漏水被害が削減されているものと考えられる。これらの被害額の減少量は前節で検討した水量安定化に関する施策の効果による被害額の減少と比較すると小さくなっている。

最下流地点における基準水量に対する漏水被害額はこのように減少しているが、各河川地点における維持流量に対する漏水による被害度という点で見ると、表5-15に示すように、屋形原、上福島、高松、岩井、岩鼻、藤岡、中里、乙女などの各地点で被害度が増加している。これは、利根川上流流域下水道や渡良瀬川流域下水道などの普及により、これらの地点をバイパスする水量が増加するためである。

表5-14 下水道普及、処理水質改善による栗橋地点における水質75%値(mg/ℓ)と超過確率(%)の変化

	Run114	Run115	Run116
BOD75%値	-0.20	-0.02	-0.23
COD75%値	-0.16	-0.05	-0.21
TN75%値	0.39	-0.56	-0.48
TP75%値	0.015	-0.027	-0.028
BOD超過確率	-3.4	-0.3	-3.8

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

表5-15 各河川地点における維持流量に対する漏水被害度(%)・日

河川地点名	Standard	Run114	差
屋形原	8095.5	8111.0	15.5
岩本	210.0	209.8	-0.2
村上	4597.6	4597.6	0.0
上福島	197.5	206.9	9.4
上里見	150.3	150.3	0.0
高松	7384.4	7452.8	68.4
岩井	2290.5	2385.8	95.3
岩鼻	4892.3	4932.5	40.2
八斗島	331.6	326.9	-4.7
古戸	236.6	236.2	-0.4
川俣	998.4	998.2	-0.2
高津戸	2969.5	2961.6	-7.9
早川田	7646.5	7639.4	-7.1
藤岡	1431.5	1449.1	17.6
中里	977.6	983.6	6.0
乙女	797.5	811.6	14.1
栗橋	538.8	530.7	-8.1

5. 2. 2 合併浄化槽による効果

ここでは、合併浄化槽の普及の効果、汚濁負荷削減の効果について検討する。合併浄化槽の普及に関しては、標準設定では下水道人口以外で2%となっていたが、これを10%に引き上げることにする。これにより、対象流域内の合併浄化槽使用者は4.8万人から23.8万人に増えることになる。一方、汚濁負荷の削減では一日一人当たり200ℓの排水があるとして、その処理水質としてBOD、COD、TNは20(mg/ℓ)、TPは2(mg/ℓ)となるようにすると仮定して、一人一日当たり排出汚濁負荷をBOD、COD、

TNは2 (g)、TPは0.2 (g)と変更する。よって

Run117:下水道以外の生活系排水

処理の比率を合併浄化槽10%、
単独浄化槽40%、くみとり50%
とした場合、

Run118:下水道以外の生活系排水

処理の比率を合併浄化槽10%、
単独浄化槽48%、くみとり42%
とした場合、

Run119:合併浄化槽における一人

当たり汚濁負荷量をBOD、COD、TNが4.0 (g/日)、TPが0.4 (g/日)とした場合、

Run120:Run117とRun119を組み合わせた場合、

という3条件でシミュレーションを行い、Standardとの差を用いてその効果について検討する。

表5-16に栗橋地点における水質指標のStandardとの差を示す。Run117、Run118はともに合併槽使用者を10%まで増やしているが、Run117では単独浄化槽からの転換、Run118ではくみ取りからの転換である。単独浄化槽使用者よりくみ取りの方が汚濁負荷量が少なくなるので、Run117の方が水質の改善度が大きくなっている。Run118ではTN、TPについては水質が悪化しているが、これは合併浄化槽よりくみ取りの方が汚濁負荷量が小さいことによる。

Run119は汚濁負荷量の削減をしており、BODやTPでは半分以下にしているのであるが、合併浄化槽普及率が低いために栗橋地点の水質にはほとんど変化がみられない。ただし、合併浄化槽を普及させると、汚濁負荷の削減効果がRun120とRun117の差分で表されるようにでてくる。

5. 2. 3 農業における負荷削減の効果

ここでは農業における汚濁負荷削減の効果について検討する。本研究におけるシミュレーションモデルでは、農業系としては畜産業、水田、畑地からの汚濁負荷を原単位を用いて考慮している。これらの汚濁負荷削減策としては、畜産の場合は糞尿の処理能力の向上、水田や畑地の場合は肥料等の使用量の削減などが考えられるが、具体的にどの程度の削減ができるかは地域によって異なり、推定が困難である。よって、

Run121:畜産業からの汚濁負荷を10%削減した場合、

Run122:水田からの汚濁負荷を10%削減した場合、

Run123:畑地からの汚濁負荷を10%削減した場合、

というように削減率を10%に統一した3条件でシミュレーションを行い、Standardとの差を用いてその効果について検討する。

表5-16 合併浄化槽普及による栗橋地点における水質75%値 (mg/Q) と超過確率 (%) の変化

	Run117	Run118	Run119	Run120
BOD75%値	-0.08	-0.07	0.00	-0.11
COD75%値	-0.08	-0.06	-0.01	-0.11
TN75%値	-0.02	0.01	-0.01	-0.03
TP75%値	-0.001	0.002	-0.001	-0.003
BOD超過確率	-1.3	-1.2	-0.1	-1.7

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

表5-17 農業における負荷削減による栗橋地点における水質75%値 (mg/Q) と超過確率 (%) の変化

	Run121	Run122	Run123
BOD75%値	-0.03	-0.05	0.00
COD75%値	-0.06	-0.09	-0.01
TN75%値	-0.04	-0.03	-0.03
TP75%値	-0.023	-0.002	0.000
BOD超過確率	-0.50	-0.80	0.00

※ 各値はStandardとの差を表しており、マイナスはStandardより小さいことを表している。

表5-17に栗橋地点における水質指標のStandardとの差を示す。Run121で特徴的なのはTPの変化が大きいことである。栗橋地点のTPの75%値は標準設定で0.230 (mg/l) なので、畜産業での10%の汚濁負荷削減により10%水質が改善されていることになる。

Run122では有機物指標の変化が比較的大きくなっており、Run123ではTNでは変化がみられるが他の指標ではほとんど変化がみられない。

5. 2. 4 水質保全に関する施策の効果のまとめ

ここまで各施策ごとにその効果の検討を行ってきたが、ここではこのうちいくつかを取り上げて相互に比較を行う。取り上げるのは、下水道の普及 (Run114)、下水処理場における処理水質改善 (Run115)、下水道の普及と処理水質改善 (Run116)、合併浄化槽の普及 (Run117)、合併浄化槽の普及と汚濁負荷削減 (Run120)、畜産業負荷削減 (Run121)、水田負荷削減 (Run122)、畑地負荷削減 (Run123)、製造業負荷削減 (Run71) の9つの施策である。

これらの施策における水質4項目の75%値について、Standardを1としたときの比を図5-7に示す。ここでは河川やダムでの水質変化を省略しているため、全負荷量に占める割合が高い発生源における対策の方が効果が大きくなる。

BODやCODでは下水道普及、下水道普及&水質改善という施策の効果が大きくなっており、合併浄化槽の普及&負荷削減がその次である。これらはいずれも生活系の汚濁負荷に関する施策であるが、対象流域内でのBODやCOD負荷量に占める割合が生活系では40%程度と最も大きいからである。またTNでは、下水道の水質改善、下水道普及&水質改善の2つで、これも全負荷量に占める割合が高くなってい

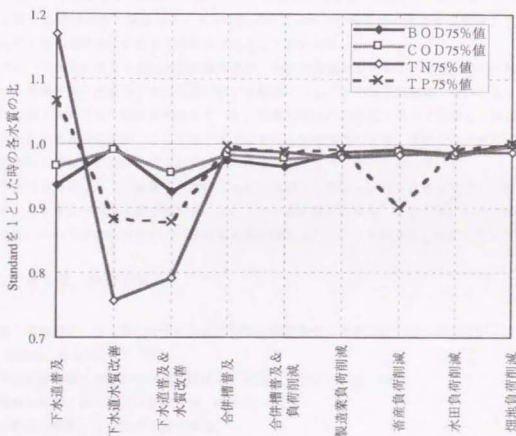


図5-7 水質保全に関する施策による栗橋地点水質の変化

ることにより、TPでも、下水道の水質改善、下水道普及&水質改善とさらに畜産業における負荷削減の効果も大きくなっており、いずれも全負荷量に占める割合が高くなっている。

これらからのことから総合すると、有機物指標に対しては下水道の普及や合併浄化槽の普及などの生活系排水の処理対策の効果が大きくなっており、TNでは下水道における処理水質の改善、TPでは下水道における処理水質の改善の他に畜産業の負荷削減の効果が大きくなっている。

最後に5.1の水量安定化に関する施策における水質への影響と比較してみる。BOD 75%値の変化は、節水では-0.03~-0.02、ダム新設では-0.03~-0.01、有効給水率の改善で-0.04~-0.02、下水処理水の再利用で-0.02となっている。製造業負荷削減における変化が-0.04、畜産負荷削減では-0.03などとなっていることから考えると、水量の安定化をはかることが水質保全にもつながり、その水質改善効果は水質保全を目指した施策の水質改善効果と比べても無視できないものであると考えられる。

5.3 第5章のまとめ

本章では、本研究で構築したモデルにより個々の流域管理施策の評価を定量化し検討するとともにさまざまな流域管理施策の効果を比較している。

5.1では、水利用の用途ごとにおける節水やダム建設、上水道の有効給水率の改善、下水処理水の再利用、などの水量安定化に関する施策について個別にその効果を検討し、維持流量の変更やダム群運用における目標放流量の変更なども含めてその効果を比較している。渇水被害額や地下水収支を用いて比較した場合、ダム新設の効果がやはり大きく、ここであげた渡良瀬貯水池、奈良県ダム、戸倉ダム、八ッ場ダムの中では、貯水容量や流入量が大きい八ッ場ダムが特に効果が大きい。節水も生活系で15%程度まで行えば、八ッ場ダムの効果ほどではないが他のダムの効果とは同程度の効果が得られるものと考えられる。また、ダム群の目標放流量の設定変更もダム新設ほどではないが被害額の変化が比較的大きくなっており、これらダム群の運用方法の最適化が重要であることがわかる。

5.2では、下水道の普及やその処理水質の改善、合併浄化槽の普及やその処理水質の改善、農業や畜産業における汚濁負荷の削減など水質保全に関する施策についてその効果を個別に検討するとともに、製造業負荷の削減も含めてその効果を比較している。各水質項目の75%値を用いて比較した場合、有機物指標では、下水道の普及の効果が、TNでは下水道における処理水質の改善、TPでは下水道における処理水質の改善の他に畜産業における汚濁負荷削減の効果が他と比べて大きくなっている。

また、下水道普及については水量への影響もあわせて検討している。最下流地点では、下水道の普及により地下水から下水道への流入量が増えることにより、渇水被害は減少しているが、いくつかの地点では下水道の普及につれてその地点をバイパスする水量が増えることにより渇水被害度が大きくなっている。

第5章の参考文献、参考資料

- 1) 山田淳、市木敦之：都市特性からみた生活用水の需要構造とその変化、第4回水資源に関するシンポジウム前刷集、pp.105-110、1992
- 2) 日本下水道協会編：流域別下水道整備総合計画調査・指針と解説、1993
- 3) 建設省河川局編：多目的ダム管理年報、昭和53～62年
- 4) 水資源開発公団編：首都圏の水資源開発
- 5) 下水道統計・行政編、1990

第6章 流域の将来予測と流域管理計画の策定

本章では、個々のパラメーターの将来における変化を推定することにより流域の将来の状況を予測し、それを用いて流域管理計画を策定するうえでこのモデルが使用される場面を仮定して、それらの計画の評価を行っている。

6. 1 では、人口や土地利用などを過去のトレンドから2000年の状況を予測し、それを用いて得られたシミュレーション結果について検討する。

6. 2 では、6. 1 で算出した2000年の状況に対し、ダムの建設計画に対する代替案の検討、栗橋地点のBODの環境基準達成計画の策定、実行可能な流域管理計画により流域の状況がどのようなかを予測している。

6. 3 では、本章で得られた知見をまとめて、考察を行っている。

6. 1 流域状況の将来予測

6. 1. 1 パラメーターの将来予測

表3-6で示した基本パラメーターのほとんどのものは時間とともに変化しうるものである。人口や土地利用は当然のように変化していくが、人口当たり水使用量などの原単位も生活環境の影響により変化していくものであり、ダムの貯水容量でさえ堆砂等の影響で変化しうる。本研究のシミュレーションモデルにおいて流域状況の将来予測を行うためには、これら個々のパラメーターの将来における変化を予測する必要がある。ここでは、西暦2000年の流域状況の予測を行うために、流域状況を表す基本的なパラメーターである小流域ごとの人口、土地利用、家畜飼育頭数、製造業出荷額についてそれぞれ予測を行う。

(1) 人口

本研究で用いられている小流域ごとの人口データは、各県統計年鑑^{1) 2) 3) 4)}における各市町村の人口をもとに算出している。ここでは、過去の人口データを推移をもとに2000年の人口を予測する。

上水道などの将来人口を推定するときには、等差級数法、等比級数法、べき曲線法およびロジスティック曲線法が用いられている⁵⁾。これらのうち等差級数法、等比級数法、べき曲線法による対象流域全体の推定人口を表6-1に示す。これによるとどの方法でも2000年の推定値に大きな差がないことがわかる。対象流域内では1980年から1994年の間に人口が減少している市町村もあるので、べき曲線法やロジスティック曲線法では推定できない市町村が存在すること、人口が多い方が水量、水質に与える影響が大き

表6-1 各方法による対象流域の人口(単位は万人)

	1980年	1985年	1990年	1994年	2000年
等差級数法					427
等比級数法	372	388	400	410	425
べき曲線法					423

くなるので、渇水被害や水質悪化を安全側に推定することになるので等差級数法を用いて人口の推定を行う。

(2) 土地利用

土地利用のうち、市街地については人口の増加とともに同じような傾向で増加していくものと考えられる。一方、その他の水田、畑地、山林については市街地の増加とは逆に減少していくものと考えられる。ここでは人口で用いた等差級数法により各土地利用の2000年における面積を推定する。表6-2に1980、85、90年の面積と2000年の推定値を示す。水田、畑地、山林の面積減少分と市街地の増加分が等しくならないのは、水田や畑地については水需

要量を考えるために実際の面積ではなく経営面積（使用されている面積）の値を用いていること、雑草地や荒地を考慮に入っていないこと、などの理由によるものである。

表6-2 対象流域内の土地利用別面積の推移（単位はha）

	1980年	1985年	1990年	2000年
水田	95140	89662	86493	77462
畑地	76332	70135	63187	50338
市街地	64503	68544	71514	78110
山林	568041	566467	561859	558940

(3) 畜産業

対象流域内における家畜飼育頭数は、表6-3より牛は1980年から85年にかけて増加したものの1990年には減少している。一方、豚は1980年から増加を続けている。これら家畜飼育頭数の変化は、

人口と比較するとその傾向が類型化しづらいものであり、広く認められている推定法はないものと考えられるので、ここでは等差級数法を用いて2000年の頭数を推定する。

表6-3 対象流域内の家畜飼育頭数の推移（単位は頭）

	1980年	1985年	1990年	2000年
牛	209192	223371	211904	218983
豚	574953	711158	848432	1123196

(4) 製造業出荷額

対象流域内における製造業出荷額は、表6-4に示すように1980年から90年にかけて増加したがそれから1994年にかけてはやや減少している。この数値は物価の上昇を考慮に入っていないもので、これを考慮に入れると1990年代は景気の後退によりかなり製造業出荷額が落ち込んでいるものと考えられる。等差級数法を用いて2000年の出荷額を推定すると表6-4に示すように約21兆円となるが、今後の景気の動向によりどのように変化するかは推定が困難である。ここでは物価の上昇分も見込んだ出荷額は変化しないとして、1990年のデータをそのまま用いることとする。

表6-4 対象流域内の製造業出荷額の推移（単位は億円）

	1980年	1985年	1990年	1994年	2000年
出荷額	74430	114345	158471	156370	213979

6. 1. 2 将来の流域状況と評価指標の変化

6. 1. 1で推定した人口、土地利用、家畜飼育頭数を用いて2000年の流域状況の推定を行う。ここではまず、人口、土地利用、家畜飼育頭数は変化させたが、ダムは6ダムのままで、下水道人口も標準設定(1990年)のまま変化させないで

Run124:人口、土地利用、家畜飼育頭数のみを標準設定から変化させたもの、

という条件でシミュレーションを行う。ここで上水道事業者が存在する市町村では上水道以外の水供給を利用する人口を固定し、上水道人口を調整することによって人口の増減に対応する。また、排水処理は標準設定で用いられている合併浄化槽2%、単独浄化槽48%、くみ取り50%という比率になるように調整する。

ただし、奈良県ダムと渡良瀬貯水池はそれぞれ平成2年、3年に供用が開始されているのでこれらは2000年の時点で当然使用されているものと考え、

Run125:Run124の設定に奈良県ダムと渡良瀬貯水池を加えたもの、

という条件でシミュレーションを行う。奈良県ダムへの流入量の扱いはRun106と同じように考える。

この他に、下水道整備の進行による下水道人口の増加や合併浄化槽人口の増加も見込まれるが、それらの値は推定が必要な値であるので、ここではこれらのパラメーターは変更せず、Run125の設定値を用いて2000年の標準設定とする。

表6-5にRun124とRun125について評価指標の一部と各指標についてRun124についてはStandardとの差をRun125についてはRun124との差を示す。Run124では人口や土地利用の変化により水質は悪化しているが、洪水被害では農業系ばかりでなく、生活系でも人口が増えているにもかかわらず減少している。この主な理由は桐生市上水道にある。表4-22に示したように桐生市上水道は対象流域の上水道事業者の中で最も洪水被害が大きい事業者であるが、桐生市においては人口は減少傾向にあるのに加えて、この事業者の水源である渡良瀬川において農地面積の減少により農業系の取水量が減少し、これにより競合する取水先がなくなったため桐生市上水道の洪水被害が減少しているためである。よって、被害が増大する傾向にある上水道事業者の方が多いのだが、生活系の被害として和をとると被害が減少しているのである。また、被害額は約670億円が増加となっているが、これは表5-7に示したRun102の蘭原ダムがない場合の効果とはほぼ同程度の値であり、1990年において10年後の人口や土地利用の変化による被害の増大は、蘭原ダムがなくなった場合の被害の増大と同程度であると言えることができる。

Run125ではダム2つを新設したことにより、洪水被害は大きく減少している。この減少量を1990年の時点でダム2つを新設したとしてシミュレーションを行ったRun109と比較すると総被害額などでRun125の方が減少量が大きくなっているが、これはもとの被害額の大きさにより減少量に差ができていたものと考えられる。また、これをStandardと比較すると洪水被害が明らかに軽減されている。利根導水路の導水量について将来における変化を考慮していないなどの原因も考えられるが、2000年には渡良瀬貯水池、奈良県ダムの存在により、その他に特別な施策を行わなくても1990年の時点より洪水被害という観点では状況が改善されるものと考えられる。

水質については生活系、畜産系、市街地からの負荷量は増加し、水田、畑地、山林からの負荷量は減少するので、このバランスにより水質が改善されるかが悪化するかが決定される。BOD、COD、TPについては負荷量増加分の方が大きくなっており、そのために水質は悪化している。TNは畑地の影響が大きいのでRun124では若干水質が悪化しているもののRun125と合わせて考えるとその水質はほとんど変化していないものと考えられる。

表6-5 2000年における各評価指標の推定値

		Run124		Run125	
		指標値	Standardとの差	指標値	Run124との差
洪水被害 (%・日)	流域内生活系	295	-5	173	-122
	流域内製造業系	46	0	29	-17
	流域内農業系	198	-166	114	-84
	最下流地点	2087	241	1704	-383
	利根導水路	3250	56	1890	-1360
洪水被害額 (億円/年)	流域内	116	-31	79	-37
	最下流地点	2705	146	1456	-1249
	利根導水路	3035	561	1998	-1037
	総被害額	5856	676	3533	-2323
地下水収支 (百万トン/年)		-14	51	-41	-27
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		82.27	-1.13	81.60	-0.67
栗橋BOD75%値 (mg/Q)		3.33	0.22	3.25	-0.08
栗橋COD75%値 (mg/Q)		4.89	0.29	4.76	-0.13
栗橋TN75%値 (mg/Q)		2.36	0.05	2.30	-0.06
栗橋TP75%値 (mg/Q)		0.259	0.029	0.253	-0.006
栗橋BOD超過確率 (%)		51.6	2.8	50.4	-1.2

※ 差におけるマイナスはStandard (Run124) より小さくなっていることを表している。

Run125の結果を2000年まで特に流域管理施策を行わなかった場合の流域状況を表すものと考え、次節ではこの状態に対してさまざまな流域管理計画を策定したときのその効果を定量化し、その計画が適切であるかどうか考えるうえでの判断材料を提供する。

6. 2 流域管理計画による効果の定量化

6. 2. 1 ダム建設に対する代替案の検討

利根川上中流部における実際の水資源計画において、1995年現在工事中もしくは計画中の主要なダムとしては表5-8にその諸元を示しているが、戸倉ダムと八ツ場ダムがある。ここでは、これらのダムの建設に対する代替案について、ダム新設と同程度の洪水被害削減効果を得るためにはどのような施策をどの程度行えばよいかを検討する。

(1) 生活系水利用における節水との比較

ここでは、対象流域内生活系水使用量及び利根導水路導水量と栗橋地点基準流量の生活系取水量をどの程度削減すれば、ダム新設と同程度の効果が見込めるかを検討する。

以下に示すように、

Run126：Run125の設定にハツ場ダムを加えたもの、

Run127：Run125の設定に戸倉ダムを加えたもの、

Run128：Run125の設定で対象流域内の生活系水使用量、ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における生活系取水量を10%削減したもの、

Run129：Run125の設定で対象流域内の生活系水使用量、ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における生活系取水量を15%削減したもの、

Run130：Run125の設定で対象流域内の生活系水使用量、ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における生活系取水量を20%削減したもの、

Run131：Run125の設定で対象流域内の生活系水使用量、ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における生活系取水量を25%削減したもの、

という6条件によるシミュレーション結果について比較検討する。

表6-6にその評価指標の一部を示す。総被害額で考えると、節水率が10%くらいで戸倉ダム新設と同程度の効果、20~25%の時にハツ場ダム新設と同程度の効果となっている。個別に見ると、流域内と最下流地点の被害額では戸倉ダムで10~15%、ハツ場ダムは25%以上、利根導水路の被害額では戸倉ダムは10%以下、ハツ場ダムで15%強と同程度の効果になっている。

また、ハツ場ダム新設(Run126)と20%節水(Run130)を比較してみると、最下流地点において渇水被害(%・日)ではRun130の方が、渇水被害額ではRun126の方が効果が大きくなっている。これは、ダムを新設した方(Run126)が流量を平滑化することにより最下流地点における大規模な水不足を少なくして

表6-6 ダム新設と生活系節水における評価指標の比較

		Run125	Run126	Run127	Run128	Run129	Run130	Run131
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	173	101	136	139	125	114	105
	流域内製造業系	29	20	24	26	25	25	24
	流域内農業系	114	67	87	104	99	95	91
	最下流地点	1704	1315	1460	1460	1356	1254	1159
	利根導水路	1890	1054	1475	1649	1534	1433	1339
渇水被害額 (億円/年)	流域内	79	49	63	67	62	58	55
	最下流地点	1456	771	1095	1155	1022	902	799
	利根導水路	1998	1217	1599	1495	1298	1148	1022
	総被害額	3533	2036	2757	2718	2383	2108	1876
地下水収支(百万トン/年)		-41	-58	-50	-52	-58	-65	-71
栗橋地点低水流量(トン/秒)		81.60	82.75	82.59	83.02	83.74	84.50	85.33
栗橋BOD75%値(mg/l)		3.25	3.25	3.22	3.24	3.24	3.24	3.23

いるために渇水被害額では特に効果が大きくなっていることを表している。一方、利根導水路では全く逆で、渇水被害ではRun126の方が、渇水被害額ではRun130の方が効果が大きくなっている。これは、利根導水路においては最下流地点の基準流量と比較して生活系取水が占める割合が大きいため、この部分を節水したことがダムによって流量を平滑化したことより渇水被害額の削減に効いているのではないかと推察される。

(2) 有効給水率の改善との比較

ここでは、上水道事業体における有効給水率をどの程度改善すれば、ダム新設と同程度の効果が見込めるかを検討する。

以下に示すように、

Run132:Run125の設定で有効給水率が85%未満の上水道事業体における有効給水率を85%にしたもの、
Run133:Run125の設定で有効給水率が90%未満の上水道事業体における有効給水率を90%にしたもの、
Run134:Run125の設定で有効給水率が95%未満の上水道事業体における有効給水率を95%にしたもの、
という3条件によるシミュレーション結果について比較検討する。

表6-7にその評価指標の一部を示す。総被害額で考えると、有効給水率を90%まで引き上げたときに戸倉ダム新設と同程度の効果が見込まれる。また、有効給水率の改善だけでは八ツ場ダムと同程度の効果を得ることはできないものと考えられる。

戸倉ダムの新設効果(Run127)と有効給水率を90%に改善(Run133)を比較してみると、渇水被害額では流域内と最下流地点はRun127の方が、利根導水路はRun133の方が効果が大きい。一方、渇水被害(%・日)では流域内の生活系以外はRun127の方が効果が大きくなっており、上水道事業体の有効給水率の改善は利根導水路において特に渇水被害額の方に効果が大きくなっている。

表6-7 ダム新設と有効給水率改善における評価指標の比較

		Run125	Run126	Run127	Run132	Run133	Run134
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	173	101	136	151	131	120
	流域内製造業系	29	20	24	28	26	26
	流域内農業系	114	67	87	112	109	107
	最下流地点	1704	1315	1460	1600	1498	1422
	利根導水路	1890	1054	1475	1804	1723	1660
渇水被害額 (億円/年)	流域内	79	49	63	73	68	65
	最下流地点	1456	771	1095	1355	1264	1186
	利根導水路	1998	1217	1599	1673	1410	1229
	総被害額	3533	2036	2757	3100	2742	2480
地下水収支(百万トン/年)		-41	-58	-50	-29	-17	-6
栗橋地点低水流量(トン/秒)		81.60	82.75	82.59	82.19	82.77	83.30
栗橋BOD75%値(mg/ℓ)		3.25	3.25	3.22	3.23	3.21	3.20

(3) 下水処理水の再利用との比較

ここでは、下水処理水の再利用をどの程度行えば、ダム新設と同程度の効果が見込めるかを検討する。
以下に示すように、

Run135:Run125の設定で下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させて処理水質を改善し、さらに各処理場における処理水の20%を最寄りの上水道において再利用したもの、

Run136:Run125の設定で下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させて処理水質を改善し、さらに各処理場における処理水の30%を最寄りの上水道において再利用したもの、

表6-8にその評価指標の一部を示す。総被害額で考えると、処理水の再利用では最下流地点や利根導水路に対してほとんど効果がないために、処理水の再利用だけでは戸倉ダムや八ツ場ダムと同程度の効果を得ることはできないものと考えられる。ただし、流域内の洪水被害に関してはその効果は大きく、30%の再利用と八ツ場ダムの新設を比較すると再利用の方が効果は大きくになっている。

表6-8 ダム新設と下水処理水の再利用における評価指標の比較

		Run125	Run126	Run127	Run135	Run136
洪水被害 (%・日)	流域内生活系	173	101	136	105	89
	流域内製造業系	29	20	24	28	27
	流域内農業系	114	67	87	107	106
	最下流地点	1704	1315	1460	1659	1650
	利根導水路	1890	1054	1475	1857	1853
洪水被害額 (億円/年)	流域内	79	49	63	52	46
	最下流地点	1456	771	1095	1420	1415
	利根導水路	1998	1217	1599	1964	1957
	総被害額	3533	2036	2757	3436	3418
地下水収支 (百万トン/年)		-41	-58	-50	-41	-46
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		81.60	82.75	82.59	81.87	81.88
栗橋BOD75%値 (mg/Q)		3.25	3.25	3.22	3.00	2.99

(4) 施策の組み合わせによる代替案の検討

(1)～(3)で個別の施策について比較を行ってきたが、ここではこれらを組み合わせて各施策をどの程度行えば八ツ場ダム新設と同程度の効果を得られるかを検討する。

Run137:Run125の設定で対象流域内の生活系水使用量、ならびに利根導水路導水量と栗橋地点の基準流量における生活系取水率を15%削減し、さらに有効給水率が85%未満の上水道事業者における有効給水率を85%にし、さらに下水道を1990年の計画人口の分だけ普及し、その処理水質を改善して各処理場における処理水の10%を最寄りの上水道において再利用したもの、

という条件でシミュレーションを行い、表6-9にその評価指標の一部を示す。生活系節水15%、有効給水率85%、下水処理水再利用10%で総被害額では八ツ場ダムと同程度の効果が得られている。

表6-9 ダム新設と各施策の組み合わせによる代替案における評価指標の比較

		Run125	Run126	Run127	Run137
渇水被害 (%・日)	流域内生活系	173	101	136	89
	流域内製造業系	29	20	24	24
	流域内農業系	114	67	87	94
	最下流地点	1704	1315	1460	1255
	利根導水路	1890	1054	1475	1442
渇水被害額 (億円/年)	流域内	79	49	63	47
	最下流地点	1456	771	1095	925
	利根導水路	1998	1217	1599	1089
	総被害額	3533	2036	2757	2061
地下水収支 (百万トン/年)		-41	-58	-50	-40
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		81.60	82.75	82.59	84.58
栗橋BOD75%値 (mg/ℓ)		3.25	3.25	3.22	2.99

6. 2. 2 栗橋地点におけるBOD75%値の環境基準の達成計画の策定

表6-5から、2000年において栗橋地点のBOD75%値は何らかの対策をとらない限り、3.25 (mg/ℓ) と悪化するものと推定される。一方、栗橋地点におけるBODの環境基準(A型)は2 (mg/ℓ) である。本研究におけるモデルでは雨天時流出分も考慮しているのでシミュレーション結果は晴天時の水質より大きくなっているものと考えられるが、ここでは栗橋地点におけるBOD75%値を2 (mg/ℓ) ままで引き下げるにはどのような施策を行えばよいかを検討する。

5章より有機物指標の削減に関しては、下水道や合併浄化槽の普及などの生活排水処理対策が効果が高いことがわかっているので、ここではまずこれらの対策を中心におこない、BODの75%値を2 (mg/ℓ) に近づけていく。

Run138: Run125の設定で下水道を1990年時点での計画人口に相当する分だけ普及させ、下水処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/ℓ) 以下、TPは0.5 (mg/ℓ) 以下になるようにし、さらに下水道以外の人口について合併浄化槽が10%、単独が40%、くみ取りが50%となるようにしたもの、

Run139: Run138の設定から、下水道以外の人口について合併浄化槽が50%、くみ取りが50%とし、単独浄化槽を禁止にしたもの、

Run140: Run139の設定から、下水道以外の人口についてはすべて合併浄化槽を用いるものとし、さらに畜産業と製造業で30%の負荷削減を行ったもの、

という3条件によるシミュレーション結果について検討する。

表6-10に栗橋地点における水質指標を示す。下水道の普及(Run138)→単独浄化槽の禁止(Run139)→生活系雑排水の放流の禁止と製造業と畜産業における汚濁負荷削減(Run140)と行うことにより、ようやくBOD75%値を2.03 (mg/ℓ) まで改善することができる。このように環境基準の2 (mg/ℓ) という値を達成するにはかなり大規模な対策が必要であると考えられる。ただし、4章でも述べたように栗

表6-10 栗橋地点における水質75%値 (mg/ℓ) と超過確率 (%)

	Run125	Run138	Run139	Run140
BOD75%値	3.25	2.96	2.59	2.03
COD75%値	4.76	4.49	4.15	3.51
TN75%値	2.30	1.82	1.77	1.72
TP75%値	0.253	0.225	0.221	0.198
BOD超過確率	50.4	45.4	38.7	26.8

栗橋地点におけるシミュレーションの水質値は実際の値より大きくなっているため、必要な対策はここで述べたものより小規模であるものと考えられる。

6. 2. 3 流域管理計画による流域の将来像の予測

最後に、ここで行った水質保全の対策と水量に関する対策を組み合わせ、考えられる流域管理計画による流域の将来像を予測してみる。

ここでシミュレーションを行う Run141～Run143 の3つの流域管理計画のシナリオを表6-11に示す。現在計画あるいは建設中のダムと下水道については3つのシナリオとも考慮しており、またRun141からRun143へと流域管理計画の規模が大きくなるようにしている。これらのシナリオにもとづいてシミュレーションを行った結果、得られた評価指標の一部を表6-12に示す。

表6-11 各シミュレーションにおける流域管理計画のシナリオ

	Run141	Run142	Run143
水量安定化に関する施策			
ダム新設	戸倉・八ツ場ダム	戸倉・八ツ場ダム	戸倉・八ツ場ダム
上水道有効給水率改善	80%以上	80%以上	85%以上
下水処理水再利用推進	処理水の2%	処理水の5%	処理水の10%
下流部農業用水合理化	×	計画取水量10%削減	計画取水量20%削減
生活系節水	×	×	水使用量5%削減
水質保全に関する施策			
下水道普及	1990年の計画人口分普及	1990年の計画人口分普及	1990年の計画人口分普及
合併浄化槽普及	下水道以外のうち3%	下水道以外のうち5%	下水道以外のうち10%
下水処理水質改善	有機物指標10 (mg/ℓ) 以下、TN20(mg/ℓ)、 TP1 (mg/ℓ)	有機物指標10 (mg/ℓ) 以下、TN10(mg/ℓ)、 TP0.5 (mg/ℓ)	有機物指標10 (mg/ℓ) 以下、TN10(mg/ℓ)、 TP0.5 (mg/ℓ)
畜産業負荷削減	全項目約10%削減	全項目約20%削減	全項目約30%削減
製造業負荷削減	×	×	全項目5%削減

表6-12 各条件によるシミュレーションで算出された評価指標

		Standard	Run125	Run141	Run142	Run143
漏水被害 (%・日)	流域内生活系	300	173	74	66	53
	流域内製造業系	46	29	17	16	15
	流域内農業系	364	114	51	46	39
	最下流地点	1846	1704	1190	1143	1014
	利根導水路	3194	1890	813	758	624
漏水被害額 (億円/年)	流域内	147	79	36	32	27
	最下流地点	2559	1456	553	508	389
	利根導水路	2474	1998	996	949	683
	総被害額	5180	3533	1585	1489	1099
地下水収支 (百万トン/年)		-65	-41	-47	-49	-46
栗橋地点低水流量 (トン/秒)		83.40	81.60	83.26	83.34	84.22
栗橋BOD75%値 (mg/Q)		3.11	3.25	2.98	2.93	2.82
栗橋COD75%値 (mg/Q)		4.60	4.76	4.47	4.38	4.21
栗橋TN75%値 (mg/Q)		2.31	2.30	2.22	1.76	1.72
栗橋TP75%値 (mg/Q)		0.230	0.253	0.242	0.197	0.192
栗橋BOD超過確率 (%)		48.8	50.4	45.9	44.8	42.5

まず水質について75%値を見ると、最も大規模な計画を行ったRun143において、Standard (1990年) に比べてBOD、CODで約10%程度、TPで約15%、TNで20%強の削減となっている。Run125 (対策なし) → Run141 → Run142 → Run143と管理計画の規模が大きくなるにつれて水質は改善される傾向にあるが、BOD、CODなどの有機物指標はRun125 → Run141で変化が大きく、TN、TPはRun141 → Run142で変化が大きくなっている。各計画のシナリオと前章の結果から考えて、有機物指標では処理水質は現状のままで下水道を普及させることの効果が大きく、一方TNやTPでは下水道の処理水質を改善することの効果が非常に大きくなっている。

漏水被害額については、奈良俣ダム、渡良瀬貯水池の供用開始により、Run125において、Standardに比べて総被害額で30%の削減となっている。また、戸倉ダムや八ツ場ダム、その他の施策を行うことにより総被害額で70~80%の削減となっており、水質と比べて比率で考えるとかなり改善されることになる。水質の場合は水質基準があるが、漏水被害額には明確な達成目標がないのでどの程度まで被害額を減少させればよいのか判断が難しいが、計画を実行するためのコストなどと比較して適切な計画を選択する必要があるだろう。

6. 3 第6章のまとめ

本章では、本研究におけるモデルを用いて流域の将来の状況を予測し、さらに流域管理計画を策定するうえでこのモデルが使用される場面を仮定して、それらの計画の評価を行っている。

6. 1では、人口や土地利用、家畜飼育頭数について過去のトレンドから2000年の状況を各市町村ごとに予測し、それを用いて得られたシミュレーション結果について検討している。対象流域内で和をとると、人口と家畜飼育頭数、市街地面積は増加しているが、山林、水田、畑地面積は減少している。水質には人口や家畜の増加の影響が大きく、2000年では水質保全の施策を行わない限り現状より水質は悪化しており、また洪水被害では対象流域内では農業用水の減少により状況は改善されるものの利根導水路などには効果はなく、総被害額で考えると被害は拡大する。また、既に供用が開始されている奈良県ダムと渡良瀬貯水池を考慮に入れると1990年の時点より洪水被害という観点ではこの他に施策を行わなくても状況は改善されている。

6. 2では、6. 1で算出した2000年の状況に対し、ダムの建設計画に対する代替案の検討、果橋地点のBODの環境基準達成計画の策定、実行可能な流域管理計画により流域の状況がどのようになるかを予測している。

ダム建設と同程度の効果を得るために各施策をどの程度行えばよいか検討しており、総被害額で考えると生活系において10%程度節水を行えば戸倉ダムの新設と同程度の効果が得られ、また20~25%節水を行えば八ツ場ダムと同程度の効果が得られる。戸倉ダム新設と同程度の効果は上水道事業者の有効給水率を90%にまで改善した場合も得られる。一方、下水処理水の再利用では総被害額では効果はほとんど現れないが、流域内の洪水被害額については処理水の20~30%を再利用することで八ツ場ダムと同程度の効果が得られている。

果橋地点のBOD 75%値を 2 (mg/l) 以下にするためには、下水道の普及と処理水質の改善、単独浄化槽、生活系雑排水の未処理放流の禁止、製造業と畜産業における30%の汚濁負荷削減、などの施策を行う必要があり、かなり大規模な対策が必要であると考えられる。

また、考えられる流域管理計画による流域の将来像を予測してみると、水質の75%値では、最も大規模な計画を行った場合、Standard (1990年) に比べてBOD、CODで約10%程度、TPで約15%、TNで20%強の削減となっている。管理計画の規模が大きくなるにつれて水質は改善される傾向にあるが、BOD、CODなどの有機物指標では処理水質は現状のままでも下水道を普及させることの効果が大きくっており、TN、TPでは下水道の処理水質を改善することの効果が非常に大きくなっている。洪水被害額では、戸倉ダムや八ツ場ダム、その他の施策を行うことにより総被害額でStandardより70~80%の削減となっており、水質と比べて比率で考えるとかなり改善されることになる。水質の場合は水質基準があるが、洪水被害額には明確な達成目標がないので、計画を実行するためのコストなどと比較して適切な計画を選択する必要があるだろう。

第6章の参考文献、参考資料

- 1) 茨城県統計年鑑、昭和56年、昭和61年、平成3年、平成7年版
- 2) 栃木県統計年鑑、昭和56年、昭和61年、平成3年、平成7年版
- 3) 群馬県統計年鑑、昭和56年、昭和61年、平成3年、平成7年版
- 4) 埼玉県統計年鑑、昭和56年、昭和61年、平成3年、平成7年版
- 5) 内藤幸徳・藤田賢二：上水道工学演習、学献社、1986

第7章 結論

本論文では、流域管理施策の効果を定量化するモデルを構築したが、このモデルにより利根川水系のように広くて利水が複雑になっている流域で、水文事象の不確定性を考慮しながら、低水管理及び水質管理施策を同じ枠組みの中で相対的に評価し、比較することが可能になった。

そして、このモデルを利根川水系上中流域に適用して、(1) モデル自体の精度の考察、ならびにモデルに用いられているパラメーター等の精度がシミュレーション結果に与える影響の考察、(2) さまざまな流域管理施策の効果を定量化と相互比較、(3) 流域状況の将来予測と流域管理計画の策定に関する考察、を行った。以下にそれぞれについて得られた知見を示す。

(1) モデル自体の精度の考察、ならびにモデルに用いられているパラメーター等の精度がシミュレーション結果に与える影響の考察

本論文で構築したモデルにおいて、各パラメーターなどについて仮定された不確実さの範囲で変更してシミュレーションを行うことにより、各パラメーターのシミュレーション結果に与える影響を定量化し、相互に比較することができるようになった。そしてこの結果を用いて、シミュレーション結果の精度向上のためにどのパラメーターの精度を上げることが効果的であるかを判断することが可能になった。

まず、現在の状況を表したパラメーターやダム群運用の設定を標準設定として、この標準設定によるシミュレーション結果が実際の状況をどの程度再現できているか検討した。水量に関しては、年単位で考えると実際の状況はある程度再現できている。しかし、半旬単位では河川流量が極端に少なくなる状態が起りやすくなっている。これは水文事象の不確定性を考慮するために作成した自然発生流量系列が原因で、自然発生流量系列の半旬単位の分布が流量が低い方で実測値より裾が広がっているためである。また、水質についてもダム内や河川流下時の水質変化を考慮していないことにより、上流部では水質をやや小さく評価し、下流部ではやや大きく評価する傾向がある。

各パラメーターのシミュレーション結果に与える影響の定量化は、水量に関する設定、水質に関する設定、渇水被害額に関する設定に分けて検討した。

水量に関する設定としては、自然発生流系列、水量に関するパラメーター群、ダム群の運用方法について、その値の不確実さの範囲、もしくは他の運用方法等を仮定して、シミュレーション結果に与える影響を定量化した。渇水被害額という観点で比較すると、自然発生流量系列の違いによるシミュレーション結果への影響が大きく、同じ条件で算定された自然発生流量系列でも乱数のばらつきにより、被害額には大きな差ができています。パラメーター群の中では、水田における水利用に関する原単位や利根導水路における導水量などがシミュレーション結果に与える影響が大きくなっており、利根川水系を対象とした場合、これらの値の精度を上げることがシミュレーション結果の精度の向上に大きく影響するものと考えられる。また、ダム群の運用方法の設定もシミュレーション結果への影響が比較的大きくなっており、被害額を正確に推定するためにはダム群運用方法について再現性を高めていく必要があるものと考えられる。

水質に関しては、原単位などのパラメーター群について、その値の不確実さの範囲を仮定してシミュレーション結果に与える影響を定量化した。BOD、COD、TN、TPについてその75%値を用いて比較すると、畜産業の排出汚濁負荷原単位がその値の不確実さの範囲が広いことから与える影響が他と比べて大きくなっている。また、汚濁負荷の流達率も下水道以外の全ての負荷量にかかるパラメーターである

ことから与える影響が大きくなっている。この他にも、水質項目別で、有機物指標では生活系の雑排水や水田、市街地、山林などの原単位、TNについては下水処理水質や畑地の原単位、TPについては下水処理水質や雑排水の原単位が与える影響が大きくなっており、これらを正確に推定していく必要があると考えられる。

渇水被害額についても、過去の研究例をもとに2種類の被害額原単位を用いてシミュレーションを行った。他のパラメーター群を用いた場合に総被害額で2倍程度の違いがあり、またこの2種類の被害額を用いて最適な最大取水制限率や取水制限開始貯水量を検討した場合、違う結果が導かれることがわかった。この原単位は正確に推定するのが難しいものではあるが、今後より多くの調査・研究を参考にして決定していく必要がある。

(2) さまざまな流域管理施策の効果の定量化と相互比較

本論文で構築したモデルを用いて、節水やダム建設、下水道普及などの流域管理施策の効果の定量化し、相互に比較することが可能になった。

まず水量安定化に関する施策として、水利用の用途ごとにおける節水やダム建設、上水道の有効給水率の改善、下水処理水の再利用、などについて個別にその効果を検討し、維持流量の変更やダム群運用における目標放流量の変更なども含めてその効果を比較している。渇水被害額や地下水収支を用いて比較した場合、ダム新設の効果がやはり大きく、渡良瀬貯水池、奈良俣ダム、戸倉ダム、八ツ場ダムの中では、貯水容量や流入量が多い八ツ場ダムが特に効果大きい。節水も生活系で15%程度まで行えば、八ツ場ダムの効果ほどではないが他のダムの効果とは同程度の効果が得られるものと考えられる。また、ダム群の目標放流量の設定変更もダム新設ほどではないが被害額の変化が比較的大きくなっており、これらダム群の運用方法の最適化が重要であることがわかる。

また、下水道の普及や処理水質の改善、合併浄化槽の普及や処理水質の改善、農業や畜産業における汚濁負荷の削減などの水質保全に関する施策について同様にその効果を個別に検討するとともに、製造業負荷の削減も含めてその効果を比較している。各水質項目の75%値を用いて比較した場合、有機物指標では、下水道の普及の効果が、TNでは下水道における処理水質の改善、TPでは下水道における処理水質の改善の他に畜産業における汚濁負荷削減の効果が他と比べて大きくなっている。また、前に述べた水量安定化に関する施策における水質への影響と比較すると製造業の負荷削減などではダム新設や節水における水質変化とはほぼ同程度の変化であり、これら低水管理施策が水質に与える影響は水質保全に関する施策の効果と比べて無視できない大きさである。

(3) 流域状況の将来予測と流域管理計画の策定に関する考察

本論文で構築したモデルを用いて、流域状況の将来予測を行うこと、あるいは流域管理計画を策定するうえでその計画の効果を定量化することが可能になった。

まず、人口や土地利用、家畜飼育頭数について過去のトレンドから2000年の状況を各市町村ごとに予測し、それを用いて得られたシミュレーション結果について検討した。対象流域内で和をとると、人口と家畜飼育頭数、市街地面積は増加しているが、山林、水田、畑地面積は減少しているが、水質には人口や家畜の増加の影響が大きく、2000年では水質保全の施策を行わない限り現状より水質は悪化している。渇水被害では対象流域内では農業用水の減少により状況は改善されるものの利根導水路などには効果はなく、

総被害額で考えると被害は拡大する。また、既に供用が開始されている奈良保ダムと渡良瀬貯水池を考慮に入れると1990年の時点より漏水被害という観点では他に施策を行わなくても状況は改善されている。

また、ダム建設と同程度の効果を得るために各施策をどの程度行えばよいか検討しており、総被害額で考えると生活系において10%程度節水を行えば戸倉ダムの新設と同程度の効果が得られ、また20~25%節水を行えば八ツ場ダムと同程度の効果が得られる。戸倉ダム新設と同程度の効果は上水道事業体の有効給水率を90%にまで改善した場合も得られる。一方、下水処理水の再利用では総被害額では効果はほとんど現れないが、流域内の漏水被害額については処理水の20~30%を再利用することで八ツ場ダムと同程度の効果が得られている。

また、栗橋地点のBOD75%値を環境基準に合うように2 (mg/l) 以下にするためには、下水道の普及と処理水質の改善、単独浄化槽、生活系雑排水の未処理放流の禁止、製造業と畜産業における30%の汚濁負荷削減、などの施策を行う必要があり、かなり大規模な対策が必要であると考えられる。

さらに、考えられる流域管理計画による流域の将来像を予測してみると、水質の75%値では、最も大規模な計画を行った場合、Standard (1990年) に比べてBOD、CODで約10%程度、TPで約15%、TNで20%強の削減となっている。管理計画の規模が大きくなるにつれて水質は改善される傾向にあるが、計画に含まれている対策の中で、BOD、CODなどの有機物指標では処理水質は現状のままで下水道を普及させることの効果が大きくなっており、TN、TPでは下水道の処理水質を改善することの効果が非常に大きくなっている。漏水被害額では、戸倉ダムや八ツ場ダム、その他の施策を行うことにより総被害額でStandardより70~80%の削減となっており、水質と比べて比率で考えるとかなり改善されることになる。水質の場合は水質基準があるが、漏水被害額には明確な達成目標がないので、計画を実行するためのコストなどと比較して適切な計画を選択する必要があるだろう。

以上のように、本研究で構築したモデルにより利根川水系におけるさまざまな流域管理施策について多くの知見を得ることができる。しかし、本研究でモデルを構築するにあたっては、モデルの各構成要素を詳細に構築してそれを積み上げていくのではなく、まずモデル全体の大枠を先に作成して各構成要素については徐々に詳しくしていくという方法をとっているため、第3章で説明したように現時点のモデルでは省略されている部分もある。そしてこの省略された部分の影響は、モデルを用いたシミュレーション結果にも当然現れている。

本論文の中でモデルを作成するうえで省略したことによる影響が大きいと考えられるものとしては、まず半旬単位の流量の再現性がよくないことである。これは自然発生流量系列を作成するときに統計的な手法によっており、地下水からの基底流出がうまく取り扱われていないことによるものである。この他にも地下水涵養量の増加が自然発生流量の増大につながる、あるいは地下水取水量の増加が自然発生流量の減少につながるというような関係が扱われていないことである。また、河川やダムでの水質変化についてもまだモデルには取り入れられていない。また、具体的に流域管理施策を評価していくためには、各施策のシナリオについてもより詳細に検討する必要があるものと考えられる。

本論文では流域管理施策を定量化するモデルの全体像を構築したが、以上に述べたように各構成要素についてより詳細にモデルを再構築して定量化の精度をあげていくことが今後の課題である。

謝辞

大学4年生の時から現在までの6年間もの長い期間、ご指導、ご鞭撻、そしてお励ましを頂いた都市工学専攻の松尾友矩教授に対し、まず心からの感謝の意を表する次第です。

また、本論文をまとめるうえでさまざまなご助言を頂き、そして審査して頂いた生産技術研究所の虫明功臣教授、都市工学専攻の大垣眞一郎教授、先端科学技術センターの花本啓祐教授、都市工学専攻の味壁俊助教授に深く感謝いたします。

本研究を進めるうえでは、大学関係者以外にも多くの人にご助言、ご協力を頂きました。建設省関東地方建設局の柏木才助氏には利根川水系における実際の状況について御教示頂きました。国立環境研究所の福島武彦氏には、研究を進めるうえで貴重なご助言を頂きました。環境庁企画調整局の山村尊房氏には水道関係の貴重な資料を提供して頂きました。また、富士通FIP(株)の川原博満氏には、モデルをコンピュータプログラムとして表現するうえで貴重なご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

都市工学専攻の先生方には、研究を進めるうえでさまざまなご助言を頂きました。花本啓祐教授、味壁俊助教授、鈴木規之助手(現金沢工業大学講師)、一ノ瀬俊明助手(現先端科学技術研究センター)、佐藤弘泰助手、浦瀬太郎助手、斉藤利見博士(現日本大学助手)には、研究室内の研究発表の場で、ご指導、ご助言を頂きました。藤田賢二教授(現埼玉大学)、桜井国俊元教授、大垣眞一郎教授、山本和夫教授、中西準子教授(現横浜国立大学)、市川新助教授、北脇秀敏助教授、滝沢智助教授、鈴木権助手(現建設省土木研究所)、神子直之助手(現横浜国立大学講師)、大瀧雅寛助手には、学科内における研究発表会などの場でさまざまなご助言を頂きました。また、コンピュータを用いてプログラムを作成していくうえで、一ノ瀬俊明助手にさまざまなご助言を頂くとともに、先端科学技術研究センターのコンピュータの使用させていただきました。ここに記して謝意を表します。

そして、大学院での生活においてさまざまな面から励まし、ご援助を頂いた都市工学科のスタッフの皆さま、ならびに大学院生の皆さまに感謝の意を表します。

付録A 各パラメーターの標準設定

表A-1 水量に関する原単位

		水使用量	消失率 (%)	再利用率 (%)
生活系		200 (Q /日/人)	5	
製造業系		206 (Q /日/百万円)	5	65
水田	季節1	20	35	
	季節2	16 (mm/日)	35	
	季節3	6	35	
	季節4	0	35	
畑地	季節1	4	100	
	季節2	4 (mm/日)	100	
	季節3	3	100	
	季節4	2	100	

表A-2 汚濁負荷に関する原単位

		BOD	COD	TN	TP	
排水処理別 (g／日／人)	合併浄化槽	10.9	7.7	6.5	0.75	
	単独浄化槽	43.3	22.6	8.9	0.93	
	くみ取り	39.0	18.0	3.0	0.30	
製造業排水水質 (mg／ℓ)		20	20	10	0.5	
家畜別 (g／日／頭)	牛	53	53	26	7	
	豚	20	20	8	4	
土地利用別 (g／ha／日)	水田	季節1	1399	1399	327	27.3
		季節2	1121	1121	262	21.8
		季節3	419	419	97.9	8.16
		季節4	219	219	51.2	4.27
	畑地	季節1	41.9	41.9	309	2.77
		季節2	38.8	38.8	286	2.56
		季節3	31.8	31.8	234	2.10
		季節4	19.2	19.2	141	1.27
	市街地	季節1	760	573	80.1	11.0
		季節2	705	531	74.2	10.2
		季節3	577	435	60.7	8.33
		季節4	348	262	36.7	5.03
	山林	季節1	87.4	87.4	14.6	1.22
		季節2	81.0	81.0	13.6	1.13
		季節3	66.3	66.3	11.1	0.925
		季節4	40.0	40.0	6.7	0.558

表A-3 各小流域の基本パラメーター

	総人口 (人)	面積 (ha)				家畜頭数 (頭)		工業生産額 (千円/年)
		合計	水田	畑地	市街地	山林	牛 豚	
矢木沢	0	16740	0	0	0	15000	0 0	0
藤原	2000	23360	0	0	50	20000	0 0	0
相俣	1500	11080	0	0	32	10000	0 0	0
屋形原	71625	49620	1400	2514	1434	32473	4034 4844	12991
園原	10109	49390	155	628	245	45000	1000 800	606
岩本	9745	16810	141	1263	179	12236	2130 900	1049
村上	69397	124500	1036	6470	1646	97666	10730 32540	7268
上福島	673474	74600	6424	10534	12355	26152	46665 251551	167977
上里見	8009	15660	212	515	181	12680	1450 11400	1475
高松	121698	37970	1839	2996	2268	21837	7618 38097	37242
岩井	109720	55520	1378	3794	2262	37374	6509 20792	30785
岩鼻	36463	9650	626	763	623	6007	1597 8337	17117
下久保	6970	32290	0	204	163	28958	750 870	271
八斗島	77205	13250	1392	726	1665	4330	3803 22985	28408
古戸	638788	68160	9773	16002	12221	5703	63574 218830	354444
川俣	36922	3200	631	407	843	10	2110 5500	43971
草木	5811	25400	4	9	127	24650	0 0	1827
高津戸	24030	21800	129	385	582	18834	1170 58200	6526
早川田	268860	27640	1992	665	4379	17807	2752 2226	90821
藤岡	270145	54210	6981	2206	4371	24371	7146 9495	130633
中里	103584	20540	3953	633	1964	9530	6949 8030	53900
乙女	311773	76000	12119	4265	5588	18601	10921 33171	92619
栗橋	241305	31410	10489	2014	4501	1096	8971 32892	193524
合計	3099133	858800	60674	56993	57679	490315	189879 761460	1273454

表A-4 各小流域における用途別取水可能量 (トン/日)

流域名	河川取水			自然発生流量取水			地下水取水		
	取水先	工水	農水	工水	農水	他	工水	農水	他
矢木沢									480
藤原									360
相模									
屋形原	月夜野地点		192000	1344	144000	1200	9103	120672	6773
園原					37200		524	30144	2426
岩本					120	33840	360	787	60624
村上					768	248640	1200	5520	310560
上福島	岩本地点	36000	400000	24000	101760	1200	61333	505632	8482
	坂東合口堰		1500000						
上里見				156	50880		1120	24720	1922
高松	岩本地点		160000	6000	105360	960	19021	143808	3732
	上里見地点		192000						
岩井				8880	330720	4800	13194	182112	274
岩鼻	高松地点		60000		18240		8329	36624	648
	岩井地点	2400	72000						
下久保							234	9792	1516
八斗島	坂東合口堰		600000	2400	22080		18458	34848	1200
古戸	岩本地点		188200	19200	113520	1200	162664	768096	8348
	坂東合口堰	72000	2400000						
	下久保地点	12000	216000						
	太田頭首工		400000						
川俣	古戸地点	12000	132000	3713	19440		22329	19536	758
草木					960	240	1580	432	1154
高津戸					30960	480	4590	18480	1105
早川田	高津戸地点		170000	9600	70080	120	58178	31920	1608
	太田頭首工		200000						
藤岡	太田頭首工	12000	1200000	7200	595440	1200	78223	105888	6371
	早川田地点	4800							
中里				2400	948720	1200	40874	30384	6395
乙女				4800	2908560	1200	69333	204720	17598
栗橋	利根大堰		486400	19200	597360	480	131436	96672	4035
	邑楽頭首工		550000						
	藤岡地点		840000						
合計		151200	9958600	109781	6377760	15840	706830	2735664	84614

※ 「他」は上水道以外の生活系取水を表す。

表A-5 各小流域における上水道以外の人口と排水処理方式

小流域	上水道以外の人口 (人)	排水処理方式と人口	
		人口 (人)	処理方式 (下水道は処理場名)
矢木沢	0	0	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
藤原	2000	2000	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
相俣	1500	1500	利根川上流域奥利根処理場
屋形原	32723	6000	新治村特定環境保全湯宿処理場
		1287	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
		25936	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
園原	10109	10109	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
岩本	9745	9745	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
村上	36049	4570	中之条町特定環境保全四万処理場
		1221	中之条町特定環境保全沢渡処理場
		30258	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
上福島	40342	40342	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
上里見	8009	8009	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
高松	19553	4013	榛名町特定環境保全榛名湖処理場
		15540	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
岩井	21143	21143	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
岩鼻	2700	2700	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
下久保	6320	6320	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
八斗島	4996	5001	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
古戸	39787	39787	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
川俣	3161	3161	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
草木	5811	5811	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
高津戸	6606	6606	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
早川田	7202	7202	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
藤岡	31547	31547	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
中里	31649	2656	巴波川流域巴波川処理場
		28993	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
乙女	79327	78327	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
栗橋	18813	18813	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り
合計	419092	419092	

※ 上水道以外の人口＝総人口－上水道人口

表A-6 各上水道事業体の基本パラメーター（水量の単位はトン/日）

上水道事業体	有効 給水率 (%)	水使用量 調整量	河川取水				自然発生流量・地下水取水		
			取水先	取水 可能量	取水先	取水 可能量	取水先	表流水 取水可能量	地下水 取水可能量
古河市	88	620	乙女	24192			栗橋		9000
宇都宮市	77	53876	流域外	107482			流域外		118000
足利市	85	18814					早川田		109700
葛生町	91	2114					藤岡		6760
今市市今市	72	3731	流域外	14429			流域外		8800
日光市日光	84	7265	流域外	15171			流域外		6100
鹿沼市	91	3930					乙女		37400
佐野市	84	7167	太田堰	25920			藤岡	8381	29900
小山市	76	3478					乙女	35165	18600
田沼町	73	1483					藤岡		11700
栃木市	88	2453					中里		33000
壬生町	83	3002					乙女		20000
大平町	84	2301					中里		9900
日光市中宮祠	84	1792					流域外	2500	
国分寺町	99	900					乙女		8400
岩舟町	83	976					藤岡		9000
石橋町	95	383					乙女		7600
藤岡町	72	94					栗橋		9900
野木町	95	655	乙女	4147					
都賀町	82	0					中里		6800
今市市大沢	77	400					乙女		1800
高崎市	85	53387	岩本	15120	上里見	52704	高松	17280	32500
沼田市	70	2943	藺原	26000					
前橋市	80	60460					上福島		128600
桐生市	77	19412	高津戸	72576			早川田	15379	7000
太田市	76	3055					古戸		112842
伊香保町	83	6346					上福島	5811	2800
伊勢崎市	90	16219					八斗島		69000
館林市	90	7256					藤岡		45200
碓氷企業団	76	7832					高松	37411	
富岡市	82	7951					岩井	35623	1215
下仁田町	68	1034					岩井	5713	
草津町	53	9565					村上		24019
藤岡市	76	2557	下久保	14688			岩鼻		16900
渋川市	82	8146	岩本	17332			上福島		15706
大間々笠懸	84	6314	草木	19699			高津戸	3629	1560
群馬町	88	4011					上福島		14090
明和村	88	2235					栗橋		5500
吾妻町	68	1403					村上		6400
吉井町	83	2078					岩井	9613	1828
邑楽町	83	2677					藤岡		16080
富士見村	78	2584					古戸		12900
吉岡町	80	1419					上福島	7137	3699
中之条町	70	2102					村上	6040	4778
大泉町	87	6370	古戸	15000			川俣		24000
水上町	65	7102					厩形原	1002	14320
柏川村	88	1976					古戸		5540
境町	75	1690					古戸		14700
板倉町	74	1234					栗橋		8000
菰塚本町	87	1778					古戸		7000

表A-6 各上水道事業体の基本パラメーター・続き(水量の単位はトン/日)

上水道事業体	有効 給水率 (%)	水使用量 調整量	河川取水				自然発流量・地下水取水		
			取水先	取水 可能量	取水先	取水 可能量	取水先	表流水 取水可能量	地下水 取水可能量
新町	81	1613					八斗島		10000
長野原町	61	469					村上		2200
大胡町	82	1131					古戸	3110	1730
宮城村	72	767					古戸		4400
新里村	74	1322					古戸	3421	3317
千代田町	73	1083					栗橋		5080
榛東村	90	3366					上福島	2732	1940
甘楽町	71	1183					岩井	6356	
碓氷村	49	1626					村上		14000
鬼石町	90	921					八斗島		4000
新田町	90	349					古戸		9000
赤堀町	90	1566					古戸		5976
東村	82	1152					古戸		6424
子持村	74	249					上福島	2592	5513
尾島町	83	1101							
玉村町	92	4485					八斗島		15950
榛名町	59	2083					高松	1200	7900
北橋村	82	1187					上福島		6959
筑郷町	71	1447					高松	3123	1355
月夜野町	83	323	月夜野	4296					
深谷市	88	3187					古戸		57750
児玉町	82	1705					古戸		3000
羽生市	86	9685					流域外		15000
行田市	83	10086					流域外		30000
加須市	84	7169					流域外		13287
本庄市	82	5512					古戸		42900
大利根町	89	1959					流域外		4100
菅野長瀬	93	1098					流域外	50976	
熊谷市	85	16753					流域外		36200
妻沼町	80	2057					古戸		11500
神川町	80	1089					八斗島		7150
岡部町	80	2134					古戸		9250
吉田町	75	466					流域外	2192	
北川辺町	90	849					栗橋		3100
美里町	67	1176					古戸		7120
上里町	93	1610					古戸		14000
群馬県央第一	100	-----	岩本	172800					
埼玉庁域第二	98	-----	流域外	231907					
合計		460529		780759		52704		266386	1418638

表A-7 上水道事業体間の送受水可能量 (トン/日)

送水元事業体	受水先事業体	送受水可能量
古河市	野木町	2000
太田市	尾島町	3600
本庄市	境町	200
本庄市	児玉町	5000
群馬県央第一	高崎市	68900
群馬県央第一	前橋市	68400
群馬県央第一	群馬町	8600
群馬県央第一	吉岡町	5500
群馬県央第一	榛東村	4100
群馬県央第一	箕郷町	4500
埼玉広域第二	羽生市	6300
埼玉広域第二	行田市	2200
埼玉広域第二	加須市	6000
埼玉広域第二	大利根町	1900
埼玉広域第二	熊谷市	7200
埼玉広域第二	北川辺町	1000

表A-8 上水道事業体における供給人口と排水処理形式

上水道事業体	供給人口 (人)	排水処理方式と人口	
		人口 (人)	処理方式 (下水道は処理場名)
古河市	57656	21700	古河市公共古河処理場
		22700	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
		13256	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
宇都宮市	411571	166300	対象流域外下水処理場
		63500	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
		181751	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
足利市	158179	37992	足利市公共足利処理場
		95800	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (早川田流域)
		24387	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
葛生町 今市市今市	9551 31044	9551	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
		20000	対象流域外下水処理場
		521	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
日光市日光	17222	10523	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
		8500	対象流域外下水処理場
		8722	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
鹿沼市	65366	29352	鹿沼市公共黒川処理場
		36014	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
		31749	佐野市公共佐野処理場
佐野市	73396	41647	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
		24669	小山市公共小山処理場
		2975	小山市公共扶桑処理場
小山市	106529	2835	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (中里流域)
		22600	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
		18150	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
田沼町 栃木市	22450 53160	35300	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
		22450	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
		16000	巴波川流域巴波川処理場
		33500	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (中里流域)
		3660	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)

表A-8 上水道事業体における供給人口と排水処理形式・続き

上水道事業体	供給人口 (人)	排水処理方式と人口	
		人口 (人)	処理方式 (下水道は処理場名)
壬生町	25619	9368	壬生町公共北部処理場
		5000	巴波川流域巴波川処理場
		11251	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
大平町	22744	10500	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (中里流域)
		12244	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
日光市中宮祠	863	800	対象流域外下水処理場
		63	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
国分寺町	9569	3569	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
		6000	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
岩舟町	18626	11395	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
		7231	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
石橋町	14826	8000	対象流域外下水処理場
		4826	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
		2000	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
藤岡町	17067	4000	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
		13067	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
野木町	17408	7000	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
		10408	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (対象流域外)
都賀町	13194	1000	巴波川流域巴波川処理場
		8100	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (中里流域)
今市市大沢	7029	4094	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
高崎市	234021	7029	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (乙女流域)
		51066	高崎市公共城南処理場
		41915	高崎市公共阿久津処理場
		21000	利根川上流域県央処理場
		90460	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
		28417	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (高松流域)
		1163	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (岩鼻流域)
沼田市	28382	13000	利根川上流域奥利根処理場
		15382	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (埴形原流域)
前橋市	284179	101865	前橋市公共前橋処理場
		8266	前橋市公共広瀬処理場
		6807	前橋市公共大利根処理場
		20000	利根川上流域県央処理場
		133171	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
		15500	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
桐生市	125449	66272	桐生市公共境野処理場
		8794	桐生市公共広沢処理場
		50383	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (早川田流域)
太田市	135964	25654	太田市公共中央第一処理場
		62346	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
		47964	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
伊香保町	4625	1106	伊香保町公共物間沢処理場
		1980	伊香保町公共湯沢処理場
		1539	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
伊勢崎市	114794	28412	伊勢崎市公共羽黒処理場
		4150	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (八斗島流域)
		82232	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)

表A-8 上水道事業体における供給人口と排水処理形式・続き

上水道事業体	供給人口 (人)	排水処理方式と人口	
		人口 (人)	処理方式 (下水道は処理場名)
館林市	75637	24610	館林市公共館林処理場
		19970	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
		31057	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
碓氷企業団	54886	54886	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (高松流域)
富岡市	47780	47780	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (岩井流域)
下仁田町	5982	5982	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (岩井流域)
草津町	7299	6725	草津町公共草津処理場
		574	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (村上流域)
藤岡市	58242	7000	利根川上流域県央処理場
		30000	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (岩鼻流域)
		21242	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (八斗島流域)
渋川市	40955	5000	利根川上流域県央処理場
		35955	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
大間々笠懸	44442	24601	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
		17424	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (高津戸流域)
		2417	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (早川田流域)
群馬町	30397	30397	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
明和村	10334	10334	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
吾妻町	11135	11135	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (村上流域)
吉井町	22635	22635	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (岩井流域)
邑楽町	25485	25485	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (藤岡流域)
富士見村	16601	7480	富士見村特定環境保全大洞処理場
		9121	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
吉岡町	13385	2100	利根川上流域県央処理場
		11285	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
中之条町	12693	12693	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (村上流域)
大泉町	37985	14500	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (川俣流域)
		23485	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
水上町	5190	4364	利根川上流域県央処理場
		826	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
粕川村	10585	10585	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
境町	28122	28122	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
飯倉町	16092	16092	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
碓塚本町	15782	15782	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
新町	13327	6000	利根川上流域県央処理場
		7327	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (八斗島流域)
長野原町	11	11	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (村上流域)
大胡町	9470	9740	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
宮城村	7300	1283	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
		6017	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
新里村	12966	12966	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
千代田町	11063	11063	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (栗橋流域)
榛東村	10953	10953	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (上福島流域)
甘栗町	12180	12180	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (岩井流域)
嬬恋村	2210	2210	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (村上流域)
鬼石町	7312	650	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (下久保流域)
		6662	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (八斗島流域)
新田町	26607	26607	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
赤碓町	12404	12404	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)
東村	15247	15247	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り (古戸流域)

表A-8 上水道事業体における供給人口と排水処理形式・続き

上水道事業体	供給人口 (人)	排水処理方式と人口	
		人口(人)	処理方式(下水道は処理場名)
子持村	12082	12082	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(上福島流域)
尾島町	13783	13783	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
玉村町	23559	3000	利根川上流域県央処理場
		2136	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(上福島流域)
		18423	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(八斗島流域)
		11257	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(高松流域)
榛名町	11257	11257	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(上福島流域)
北橋村	9489	9489	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(上福島流域)
箕霧町	14791	7206	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(上福島流域)
		7585	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(高松流域)
		5000	利根川上流域奥利根処理場
		330	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(屋形原流域)
深谷市	80902	23300	深谷市公共深谷処理場
		57602	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
		15861	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
		9456	流域外下水処理場
行田市	77954	42024	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
		30000	流域外下水処理場
		47954	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
		15375	流域外下水処理場
加須市	54372	38997	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
		27350	本庄市公共本庄処理場
		29427	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
		14150	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
大利根町	14150	7276	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
		7276	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
		75000	流域外下水処理場
		3100	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(川俣流域)
妻沼町	27661	52983	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
		11500	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
		16161	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(川俣流域)
		1000	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(八斗島流域)
神川町	10933	9933	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
		17727	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
		5424	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(対象流域外)
		11109	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(架橋流域)
北川辺町	11109	11109	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(架橋流域)
美里町	11681	11681	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
上里町	14362	14362	合併浄化槽、単独浄化槽、くみ取り(古戸流域)
合計	3492580	3492580	

表A-9 各下水処理場における基本パラメーター

	処理水 放流先 地点名	地下水 混入元 流域名	地下水/ 汚水比率 (%)	放流水質 (mg/ℓ)				処理水再利用先	
				BOD	COD	TN	TP	事業体名	可能量 (トン/日)
古河市公共古河	栗橋	栗橋	13	5.775	7.825	30	1.5	伊香保町	429
足利市公共足利	早川田	早川田	15	3.575	5.600	30	1.5		
佐野市公共佐野	藤岡	藤岡	20	6.900	10.325	30	1.5		
鹿沼市公共黒川	乙女	乙女	20	13.475	8.450	30	1.5		
小山市公共小山	栗橋	栗橋	22	5.143	5.243	30	1.5		
小山市公共扶桑	乙女	乙女	23	8.625	8.375	30	1.5		
壬生町公共北部	乙女	乙女	20	4.475	7.925	30	1.5		
前橋市公共前橋	古戸	古戸	20	8.250	10.500	30	1.5		
前橋市公共広瀬	古戸	古戸	10	5.500	10.500	30	1.5		
前橋市公共大利根	上福島	上福島	18	8.000	10.250	30	1.5		
高崎市公共城南	岩鼻	岩鼻	15	18.700	20.450	30	1.5		
高崎市公共阿久津	岩鼻	岩鼻	18	10.575	9.375	30	1.5		
桐生市公共境野	早川田	早川田	15	9.500	20.500	30	1.5		
桐生市公共広沢	早川田	早川田	15	2.850	8.000	30	1.5		
伊勢崎市公共羽黒	古戸	古戸	15	5.675	13.350	30	1.5		
太田市公共中央第一	古戸	古戸	17	8.575	8.775	30	1.5		
館林市公共館林	栗橋	栗橋	17	7.775	6.850	30	1.5		
伊香保町公共閑沢	上福島	上福島	15	5.500	1.750	30	1.5		
伊香保町公共湯沢	上福島	上福島	15	5.375	9.200	30	1.5		
草津町公共草津	村上	村上	17	2.980	7.380	30	1.5		
深谷市公共深谷	古戸	古戸	18	3.700	8.025	30	1.5		
本庄市公共本庄	古戸	古戸	16	2.500	7.725	30	1.5		
巴波川流域巴波川	中里	中里	20	2.225	6.550	30	1.5		
利根上流域奥利根	岩本	岩本	15	6.000	7.000	30	1.5		
利根上流域県央	八斗島	八斗島	18	3.275	7.800	30	1.5		
館林市特定近藤	栗橋	栗橋	6	10.225	8.150	30	1.5		
榛名町特環榛名湖	上福島	上福島	25	6.250	6.250	30	1.5		
中之条町特環四万	村上	村上	10	6.000	13.000	30	1.5		
中之条町特環沢渡	村上	村上	10	6.750	10.500	30	1.5		
新治村特環湯宿	屋形原	屋形原	15	16.875	6.350	30	1.5		
富士見村特環大洞	上福島	上福島	10	4.250	4.500	30	1.5		

表A-10 河川各地点における
基本パラメーター

河川各地点	維持流量 (千トン /日)	水質基準 BOD (mg/ℓ)
矢木沢	0	1
藤原	0	1
相俣	0	1
月夜野	43	1
屋形原	86	2
蘭原	0	2
岩本	346	2
村上	43	2
坂東合口堰	432	2
上福島	691	2
上里見	43	1
高松	43	2
岩井	43	2
岩鼻	86	3
下久保	0	2
八斗島	1296	2
古戸	1296	2
利根大堰	1296	2
川俣	1296	2
草木	0	2
高津戸	43	2
太田頭首工	43	2
早川田	86	3
邑楽頭首工	86	3
藤岡	259	3
中里	43	2
乙女	86	2
渡良瀬	432	3
栗橋	1296	2

表A-11 各ダムにおける基本パラメーター

ダム	死水容量 (千トン)	利水容量 (千トン)		初期 貯水量 (千トン)
		1～6月 10～12月	7～9月	
矢木沢	66700	115500	115500	182200
藤原	16600	31010	14690	47610
相俣	5000	20000	10600	25000
蘭原	6170	13320	3000	19390
下久保	10000	120000	85000	130000
草木	10000	50500	30500	60500
責任放流量 (千トン/日)				
	季節1	季節2	季節3	季節4
矢木沢	0	0	0	0
藤原	0	0	0	0
相俣	248	208	128	88
蘭原	14	14	14	14
下久保	450	410	210	50
草木	1500	1200	500	120
初期水質 (mg/ℓ)				
	BOD	COD	TN	TP
矢木沢	0.5	0.5	0.15	0.02
藤原	0.5	0.5	0.15	0.02
相俣	0.5	0.5	0.15	0.02
蘭原	0.5	0.5	0.15	0.02
下久保	1.0	1.0	0.30	0.04
草木	1.0	1.0	0.30	0.04

表A-12 流域外導水路、最下流地点における基本パラメーター (千トン/日)

		生活系	製造業系	農業系	維持流量	合計
利根導水路 設定導水量	季節1	2500	100	6000	700	9300
	季節2	2500	100	4500	700	7800
	季節3	2500	100	800	700	4100
	季節4	2500	100	0	700	3300
最下流地点 (栗橋地点) 基準水量	季節1	1000	100	2000	4900	8000
	季節2	1000	100	1500	4900	7500
	季節3	1000	100	500	4900	6500
	季節4	1000	100	0	4900	6000

表A-13 各小流域における用途別・水源別計画取水量(トン/半旬)

流域名	取水源	製造業系	農業系				他生活系
			季節1	季節2	季節3	季節4	
矢木沢	自然発生流量	0	0	0	0	0	0
	地下水	0	0	0	0	0	0
	合計	0	0	0	0	0	0
藤原	自然発生流量	0	0	0	0	0	0
	地下水	0	0	0	0	0	2000
	合計	0	0	0	0	0	2000
相俣	自然発生流量	0	0	0	0	0	0
	地下水	0	0	0	0	0	1500
	合計	0	0	0	0	0	1500
屋形原	沼田市上水道	3300					
	月夜野地点	0	800000	600000	200000	0	
	自然発生流量	5600	600000	520000	220000	0	5000
	地下水	37932	502800	502800	377100	251400	28223
	合計	46832	1902800	1622800	797100	251400	33223
蘭原	自然発生流量	0	155000	124000	46500	0	0
	地下水	2184	125600	125600	94200	62800	10900
	合計	2184	280600	249600	140700	62800	10900
岩本	自然発生流量	500	141000	112800	42300	0	1500
	地下水	3281	252600	252600	189450	126300	8245
	合計	3781	393600	365400	231750	126300	9745
村上	自然発生流量	3200	1036000	828800	310800	0	5000
	地下水	23001	1294000	1294000	970500	647000	31049
	合計	26201	2330000	2122800	1281300	647000	36049
上福島	高崎市上水道	65000					
	前橋市上水道	20000					
	渋川市上水道	5000					
	群馬町上水道	5000					
	吉岡町上水道	5000					
	岩本地点	150000	1500000	1300000	500000	0	
	坂東谷口堰	0	4500000	3500000	1200000	0	
	自然発生流量	100000	424000	339200	227200	0	5000
	地下水	255557	2106800	2106800	1580100	1053400	35342
	合計	605557	8530800	7246000	3507300	1053400	40342
上里見	自然発生流量	650	212000	169600	69600	0	0
	地下水	4667	103000	103000	77250	51500	8009
	合計	5317	315000	272600	146850	51500	8009
高松	碓氷企業団	30000					
	岩本地点	0	600000	500000	200000	0	
	上里見地点	0	800000	600000	200000	0	
	自然発生流量	25000	439000	371200	151700	0	4000
	地下水	79257	599200	599200	449400	299600	15553
	合計	134257	2438200	2070400	1001100	299600	19553
岩井	富岡市上水道	12000					
	吉井町上水道	7000					
	自然発生流量	37000	1378000	112400	413400	0	20000
	地下水	54979	758800	758800	569100	379400	1143
	合計	110979	2136800	871200	982500	379400	21143

表A-13 各小流域における用途別・水源別計画取水水量 続き (トン/半旬)

流域名	取水源	製造業系	農業系				他生活系
			季節1	季節2	季節3	季節4	
岩鼻	藤岡市上水道	17000					
	高松地点	0	250000	200000	80000	0	
	岩井地点	10000	300000	250000	100000	0	
	自然発生流量	0	76000	50800	7800	0	0
	地下水	34706	152600	152600	114450	76300	2700
	合計	61706	778600	653400	302250	76300	2700
下久保	自然発生流量	0	0	0	0	0	0
	地下水	976	40800	40800	30600	20400	6320
	合計	976	40800	40800	30600	20400	6320
八斗島	伊勢崎市上水道	13000					
	新町上水道	2500					
	坂東合口堰	0	1300000	1050000	400000	0	
	自然発生流量	10000	92000	63600	17600	0	0
	地下水	76910	145200	145200	108900	72600	5001
	合計	102410	1537200	1258800	526500	72600	5001
古戸	太田市上水道	85000					
	蔵塚本町上水道	5000					
	新田町上水道	10000					
	深谷市上水道	40000					
	本庄市上水道	30000					
	岩本地点	0	800000	700000	300000	0	
	坂東合口堰	300000	6000000	4800000	1700000	0	
	下久保地点	50000	1000000	900000	400000	0	
	太田頭首工	0	1500000	1200000	500000	0	
	自然発生流量	80000	473000	218400	31900	0	5000
	地下水	677770	3200400	3200400	2400300	1600200	34787
	合計	1277770	12973400	11018800	5332200	1600200	39787
川俣	古戸地点	50000	550000	430000	150000	0	
	自然発生流量	15474	81000	74800	39300	0	0
	地下水	93041	81400	81400	61050	40700	3161
	合計	158515	712400	586200	250350	40700	3161
草木	自然発生流量	0	4000	3200	1200	0	1000
	地下水	6586	1800	1800	1350	900	4811
	合計	6586	5800	5000	2550	900	5811
高津戸	大間々笠懸	4400					
	自然発生流量	0	129000	103200	38700	0	2000
	地下水	19126	77000	77000	57750	38500	4606
	合計	23526	206000	180200	96450	38500	6606
早川田	足利市上水道	30000					
	桐生市上水道	15000					
	高津戸地点	0	800000	700000	300000	0	
	太田頭首工	0	900000	650000	200000	0	
	自然発生流量	40000	292000	243600	97600	0	500
	地下水	242409	133000	133000	99750	66500	6702
	合計	327409	2125000	1726600	697350	66500	7202

表A-13 各小流域における用途別・水源別計画取水量 続き (トン/半旬)

流域名	取水源	製造業系	農業系				他生活系
			季節 1	季節 2	季節 3	季節 4	
藤岡	佐野市上水道	15000					
	太田市上水道	10000					
	館林市上水道	20000					
	太田頭首工	50000	4500000	3500000	1500000	0	
	早川田地点	20000	0	0	0	0	
	自然発生流量	30000	2481000	2084800	594300	0	5000
	地下水	325931	441200	441200	330900	220600	26547
	合計	470931	7422200	6026000	2425200	220600	31547
中里	栃木市上水道	14000					
	自然発生流量	10000	3953000	3162400	1185900	0	5000
	地下水	170309	126600	126600	94950	63300	26649
	合計	194309	4079600	3289000	1280850	63300	31649
乙女	宇都宮市上水道	10000					
	鹿沼市上水道	15000					
	自然発生流量	20000	12119000	9695200	3635700	0	5000
	地下水	288891	853000	853000	639750	426500	73327
	合計	333891	12972000	10548200	4275450	426500	78327
栗橋	古河市上水道	10000					
	小山市上水道	15000					
	館林市上水道	20000					
	邑楽町上水道	5000					
	大泉町上水道	20000					
	利根大堰	0	2000000	1800000	800000	0	
	邑楽頭首工	0	2500000	2000000	800000	0	
	藤岡地点	0	3500000	3000000	700000	0	
	自然発生流量	80000	2489000	1591200	846700	0	2000
	地下水	547654	402800	402800	302100	201400	16813
	合計	697654	10891800	8794000	3448800	201400	18813
合計		4590791	72072600	58947800	26757150	5699300	418597

表A-14 各小流域の製造業系排水の下水道への放流比率

流域名	推定排水量 (トン/半旬)	放流先 下水処理場	放流量 /排水量 (%)	推定放流量 (トン/半旬)
矢木沢	0			
藤原	0			
相俣	0			
屋形原	44490	利根上流域奥利根	3.0	1290
園原	2075			
岩本	3592			
村上	24891			
上福島	575279	前橋市公共前橋	15.2	87442
		前橋市公共大利根	0.05	287
		高崎市公共城南	2.7	15532
		高崎市公共阿久津	0.6	3451
		伊香保町公共物間沢	0.07	402
上里見	5051			
高松	127544	榛名町特環榛名湖	0.3	382
岩井	105430			
岩鼻	58621			
下久保	928			
八斗島	97290	利根上流域県央	3.1	3015
古戸	1213882	前橋市公共前橋	0.4	4855
		伊勢崎市公共羽黒	0.6	7283
		太田市公共第一	0.6	7283
		本庄市公共本庄	0.3	3641
川俣	150589			
草木	6257			
高津戸	22349			
早川田	311039	足利市公共足利	3.2	9953
		桐生市公共境野	8.4	26127
		桐生市公共広沢	1.1	3421
		佐野市公共佐野	3.6	16105
藤岡	447385			
中里	184594			
乙女	317196	壬生町公共北部	1.3	4123
栗橋	662771	小山市公共小山	1.4	9278
		館林市公共館林	1.1	7290
		館林市特定近藤	1.8	11929
合計	4361253		5.1	223089

表A-15 各上水道事業体の設定取水量 (トン/半旬)

上水道事業体	総取水量	河川取水		自然発生流量・地下水取水			受水・下水処理水再利用	
		取水先	取水量	取水先	発生流量	地下水	取水先	取水量
古河市	82174	乙女	77354	栗橋		4820		
宇都宮市	897340	対象外	530000	対象外		367340		
足利市	332055			早川田		332055		
葛生町	22113			藤岡		22113		
今市市今市	69026	対象外	45000	対象外		24026		
日光市日光	63747	対象外	50000	対象外		13747		
鹿沼市	109905			乙女		109905		
佐野市	147896	早川田	10000	藤岡	5000	132896		
小山市	182786			乙女	150000	32786		
田沼町	40908			藤岡		40908		
栃木市	90255			中里		90255		
壬生町	48951			乙女		48951		
大平町	40770			中里		40770		
日光市中宮祠	11692			対象外	11692			
国分寺町	14210			乙女		14210		
岩舟町	28321			藤岡		28321		
石橋町	17623			乙女		17623		
藤岡町	24359			栗橋		24359		
野木町	21769	乙女	20000				古河市上水道	1769
都賀町	16090			中里		16090		
今市市大沢	11723			乙女		11723		
高崎市	665832	岩本	75000	高松	70832	50000	群馬県央第一	250000
		上里見	220000					
		園原	66281					
沼田市	66281			上福島		539886	群馬県央第一	220000
前橋市	759886			早川田	30000	25000		
桐生市	308450	高津戸	253450	古戸		347239		
太田市	347239			上福島	29369	14000	伊香保町 物開沢処理場	429
伊香保町	43798							
伊勢崎市	232100			八斗島		232100		
館林市	168797			藤岡		168797		
碓氷企業団	159034			高松	159034			
富岡市	121382			岩井	120182	1200		
下仁田町	16398			岩井	16398			
草津町	104005		73000	村上		104005		
藤岡市	115825	下久保	45713	岩鼻		42825		
渋川市	105713	岩本	80000	上福島		60000		
大間々笠懸	95727	草木			15727			
群馬町	63013			上福島		41013	群馬県央第一	22000
明和村	24439			栗橋		24439		
吾妻町	26692			村上		26692		
吉井町	48225			岩井	45000	3225		
邑楽町	52856			藤岡		52856		
富士見村	37847			上福島		37847		
吉岡町	31848			上福島	6848	6000	群馬県央第一	19000
中之条町	33150			村上	16000	17150		
大泉町	103259	古戸	33259	川俣		70000		
水上町	62613			屋形原	5000	57613		
粕川村	23256			古戸		23256		
境町	48762			古戸		48762		

表A-15 各上水道事業体の設定取水量・続き (トン/半旬)

上水道事業体	総取水量	河川取水		自然発生流量・地下水取水		受水・下水処理水再利用	
		取水先	取水量	取水先	発生流量 地下水	取水先	取水量
板倉町	30081			栗橋	30081		
藪塚本町	34104			古戸	34104		
新町	29493			八斗島	29493		
長野原町	3862			村上	3862		
大胡町	18442			上福島	12000 6442		
宮城村	15468			古戸	15468		
新里村	26452			古戸	14000 12452		
千代田町	22573			栗橋	22573		
榛東村	30867			上福島	10867 8000	群馬県県央第一	12000
甘楽町	23501			岩井	23501		
嬭恋村	21106			村上	21106		
鬼石町	13242			八斗島	13242		
新田町	42615			古戸	42615		
赤堀町	22481			古戸	22481		
東村	25620			古戸	25620		
子持村	18012			上福島	9000 9012		
尾島町	23238					太田市上水道	23238
玉村町	49984			八斗島	49984		
榛名町	36730			高松	4000 32730		
北橋村	18810			上福島	18810		
箕郷町	31023			高松	15000 4023	群馬県県央第一	12000
月夜野町	8367	月夜野	8367				
深谷市	155495			古戸	155495		
児玉町	29736			古戸	12000	本庄市上水道	17736
羽生市	116167			対象外	85000	埼玉県広域第二	31167
行田市	154679			対象外	145000	埼玉県広域第二	9679
加須市	107403			対象外	77403	埼玉県広域第二	30000
本庄市	157171			古戸	157171		
大利根町	26904			対象外	19904	埼玉県広域第二	7000
皆野長瀬	13727			対象外	13727		
熊谷市	252763			対象外	216763	埼玉県広域第二	36000
妻沼町	47431			古戸	47431		
神川町	20472			八斗島	20472		
岡部町	35496			古戸	35496		
吉田町	10337			対象外	10337		
北川辺町	17062			栗橋	12062	埼玉県広域第二	5000
美里町	26211			古戸	26211		
上里町	24097			古戸	24097		
群馬県県央第一	535000	岩本	535000				
埼玉県広域第二	118846	対象外	118846				
合計	8535208		2241270		793514 4803406		697018

付録B シミュレーションの略号と内容

表B-1 シミュレーションの略号と内容

略号	章・節・項	内容
Standard	4. 1. 3	標準設定を用いて行ったシミュレーション。
Run 1	4. 2. 1	Standardで、自然発生流量としてA-1（自己・相互相関を無視、代表流域＝草木流域）を用いる。
Run 2		Standardで、自然発生流量としてB-1（相互相関のみ考慮、代表流域＝草木流域）を用いる。
Run 3		Standardで、自然発生流量としてC-2（自己・相互相関を考慮、代表流域＝草木流域）を用いる。
Run 4		Standardで、自然発生流量としてC-3（自己・相互相関を考慮、代表流域＝草木流域）を用いる。
Run 5		Standardで、自然発生流量としてD-1（自己・相互相関を考慮、代表流域＝乙女流域）を用いる。
Run 6		Standardで、自然発生流量としてB-1 E-1（自己・相互相関を考慮、代表流域＝下久保流域）を用いる。
Run 7	4. 2. 2	Standardで、生活系消失率を0%とする。
Run 8		Standardで、生活系消失率を10%とする。
Run 9		Standardで、製造業出荷額当たり水使用量を185（ Q ／百万円／日）とする。
Run10		Standardで、製造業出荷額当たり水使用量を227（ Q ／百万円／日）とする。
Run11		Standardで、製造業場内リサイクル率を60%とする。
Run12		Standardで、製造業場内リサイクル率を70%とする。
Run13		Standardで、製造業消失率を0%とする。
Run14		Standardで、製造業消失率を10%とする。
Run15		Standardで、水田面積当たり水使用量をピーク時に15（mm／日）、総使用水量として1300（mm）となるようにする。
Run16		Standardで、水田面積当たり水使用量をピーク時に30（mm／日）、総使用水量として3000（mm）となるようにする。
Run17		Standardで、水田消失率を灌漑期一律25%とする。
Run18		Standardで、水田消失率を灌漑期一律40%とする。
Run19		Standardで、導水量を用途ごとに10%ずつ減らす。
Run20		Standardで、導水量を用途ごとに10%ずつ増やす。
Run21		Standardで、製造業の計画取水量について地下水取水量を10%減らしてそれを地表水からの取水にまわす。
Run22		Standardで、製造業の計画取水量について河川及び自然発生流量からの取水量を10%減らしてそれを地下水からの取水にまわす。
Run23		Standardで、農業系の計画取水量について河川からの取水量を10%減らし、それを各小流域の自然発生流量からの取水とする。
Run24		Standardで、地下水取水可能量を上水道以外の全ての用途で計画取水量の1.1倍とする。
Run25		Standardで、地下水取水可能量を上水道以外の全ての用途で計画取水量の1.3倍とする。
Run26		Standardで、表流水からの取水可能量を上水道と取水権量が既知の取水堰からの取水以外について計画取水量の1.1倍とする。
Run27		Standardで、表流水からの取水可能量を上水道と取水権量が既知の取水堰からの取水以外について計画取水量の1.3倍とする。
Run28		Standardで、河川の維持流量を各地点において20%ずつ減らす。
Run29		Standardで、河川の維持流量を各地点において20%ずつ増やす。
Run30	4. 2. 3	Standardで、最下流地点の基準水量を用途ごとに10%ずつ減らす。
Run31		Standardで、最下流地点の基準水量を用途ごとに10%ずつ増やす。

表B-1 シミュレーションの略号と内容・続き

略号	章・節・項	内容
Run32	4. 2. 3	Standardで、各ダムの責任放流量を一律に10%ずつ減らす。
Run33		Standardで、各ダムの責任放流量を一律に10%ずつ増やす。
Run34		Standardで、追加放流を行うときに全てのダムから貯水量比に応じて放流するようにする。
Run35		Standardで、追加放流を行うときに、まず責任放流量が設定されているダムのうち流入水量/利水容量の大きいダムから追加放流を行い、それでも目標放流量が満たされない場合は、責任放流量が設定されているダムについても流入水量/利水容量が大きいダムから追加放流を行うようにする。具体的には、矢木沢&藤原→園原→相模→草木→下久保という順に追加放流を行う。
Run36		Standardで、追加放流を行うときに流入水量/利水容量の大きいダムから追加放流を行うようにする。具体的には、園原→相模→草木→矢木沢&藤原→下久保という順に追加放流を行う。
Run37		Standardで、追加放流を行うときに流入水量の大きいダムから追加放流を行うようにする。具体的には、矢木沢&藤原→園原→草木→下久保→相模という順に追加放流を行う。
Run38		Standardで、1.5億トンから取水制限を開始し、0.5億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が30%となるようにする。
Run39		Standardで、1.5億トンから取水制限を開始し、0.3億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が50%となるようにする。
Run40		Standardで、1.5億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が60%となるようにする。
Run41		Standardで、0.5億トンから取水制限を開始し、0.125億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run42		Standardで、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run43		Standardで、2.0億トンから取水制限を開始し、0.5億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run44		Standardで、2.5億トンから取水制限を開始し、0.625億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run45		Standardで、1月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run46		Standardで、2月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run47		Standardで、3月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run48		Standardで、4月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run49		Standardで、5月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run50		Standardで、6月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run51		Standardで、7月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。

表B-1 シミュレーションの略号と内容・続き

略号	章・節・項	内容
Run52	4. 2. 3	Standardで、8月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run53		Standardで、9月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run54		Standardで、10月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run55		Standardで、11月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run56		Standardで、12月だけ取水制限開始貯水量を減らし、1.0億トンから取水制限を開始し、0.25億トンごとに10%ずつ取水制限を強化し、最大取水制限率が40%となるようにする。
Run57	4. 3. 1	Standardで、各下水処理場の放流水質を、BODとCODは標準設定から20%減、TNは10 (mg/ℓ)、TPは0.5 (mg/ℓ) とする。
Run58		Standardで、各下水処理場の放流水質を、BODとCODは標準設定から20%増、TNは40 (mg/ℓ)、TPは4 (mg/ℓ) とする。
Run59		Standardで、合併浄化槽の排出負荷量として表4-25に示した範囲の最小値を用いる。
Run60		Standardで、合併浄化槽の排出負荷量として表4-25に示した範囲の最大値を用いる。
Run61		Standardで、単独浄化槽の排出負荷量として表4-25に示した範囲の最小値を用いる。
Run62		Standardで、単独浄化槽の排出負荷量として表4-25に示した範囲の最大値を用いる。
Run63		Standardで、表4-24の雑排水とし尿の比から雑排水の範囲を算出し、雑排水の排出負荷量としてその最小値を用いる。
Run64		Standardで、表4-24の雑排水とし尿の比から雑排水の範囲を算出し、雑排水の排出負荷量としてその最大値を用いる。
Run65		Standardで、下水処理人口以外の生活系排水処理の比率を、合併浄化槽1%、単独浄化槽49%、くみ取り50%とする。
Run66		Standardで、下水処理人口以外の生活系排水処理の比率を、合併浄化槽3%、単独浄化槽47%、くみ取り50%とする。
Run67		Standardで、下水処理人口以外の生活系排水処理の比率を、合併浄化槽1%、単独浄化槽48%、くみ取り51%とする。
Run68		Standardで、下水処理人口以外の生活系排水処理の比率を、合併浄化槽3%、単独浄化槽48%、くみ取り49%とする。
Run69		Standardで、下水処理人口以外の生活系排水処理の比率を、合併浄化槽2%、単独浄化槽43%、くみ取り55%とする。
Run70		Standardで、下水処理人口以外の生活系排水処理の比率を、合併浄化槽2%、単独浄化槽53%、くみ取り45%とする。
Run71	4. 3. 2	Standardで、製造業系排水水質を各項目20%ずつ減らす。
Run72		Standardで、製造業系排水水質を各項目20%ずつ増やす。
Run73	4. 3. 3	Standardで、畜産系汚濁負荷原単位を一律に半減する。
Run74		Standardで、畜産系汚濁負荷原単位を表4-30の流総調査の値を用いて増やす。
Run75	4. 3. 4	Standardで、水田の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最小値を用いる。
Run76		Standardで、水田の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最大値を用いる。
Run77		Standardで、畑地の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最小値を用いる。
Run78		Standardで、畑地の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最大値を用いる。

表B-1 シミュレーションの略号と内容・続き

略号	章・節・項	内容
Run79	4. 3. 4	Standardで、市街地の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最小値を用いる。
Run80		Standardで、市街地の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最大値を用いる。
Run81		Standardで、山林の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最小値を用いる。
Run82		Standardで、山林の排出負荷原単位として表4-32に示した範囲の最大値を用いる。
Run83	4. 3. 5	Standardで、流達率をBODは10%、それ以外の3項目は25%に減らす。
Run84		Standardで、流達率をBODは20%、それ以外の3項目は35%に増やす。
Run85	5. 1. 1	Standardで、生活系水使用量原単位を5%減らして対象流域内における生活系節水を行う。
Run86		Standardで、生活系水使用量原単位を15%減らして対象流域内における生活系節水を行う。
Run87		Standardで、生活系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系分を5%減らして、対象流域内及び流域外における生活系節水を行う。
Run88		Standardで、生活系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系分を15%減らして、対象流域内及び流域外における生活系節水を行う。
Run89		Standardで、製造業系水使用量原単位を5%減らして対象流域内における製造業系節水を行う。
Run90		Standardで、製造業系水使用量原単位を10%減らして対象流域内における製造業系節水を行う。
Run91		Standardで、製造業系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の製造業系分を5%減らして、対象流域内及び流域外における製造業系節水を行う。
Run92		Standardで、製造業系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の製造業系分を10%減らして、対象流域内及び流域外における製造業系節水を行う。
Run93		Standardで、水田水使用量原単位を約5%減らして対象流域内における農業系節水を行う。
Run94		Standardで、水田水使用量原単位を約10%減らして対象流域内における農業系節水を行う。
Run95		Standardで、水田水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の農業系分を約5%減らして、対象流域内及び流域外における農業系節水を行う。
Run96		Standardで、水田水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の農業系分を約10%減らして、対象流域内及び流域外における農業系節水を行う。
Run97		Standardで、生活系、製造業系、水田の水使用量原単位を約5%減らして対象流域内における節水を行う。
Run98		Standardで、生活系、製造業系、水田の水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系、製造業系、農業系分を約5%減らして、対象流域内及び流域外における節水を行う。
Run99	5. 1. 2	Standardで、矢木沢ダムの利水容量を0にする。
Run100		Standardで、藤原ダムの利水容量を0にする。
Run101		Standardで、相模ダムの利水容量を0にする。
Run102		Standardで、園原ダムの利水容量を0にする。
Run103		Standardで、下久保ダムの利水容量を0にする。
Run104		Standardで、草木ダムの利水容量を0にする。
Run105		Standardで、渡良瀬貯水池を新設する。
Run106		Standardで、奈良俣ダムを新設する。
Run107		Standardで、戸倉ダムを新設する。
Run108		Standardで、八ツ場ダムを新設する。
Run109	5. 1. 3	Standardで、渡良瀬貯水池、奈良俣ダムを新設する。
Run110		Standardで、有効給水率が85%未満の61の上水道事業体における有効給水率を85%にする。

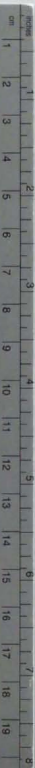
表B-1 シミュレーションの略号と内容・続き

略号	章・節・項	内容
Run111	5. 1. 3	Standardで、有効給水率が90%未満の75の上水道事業体における有効給水率を90%にする。
Run112	5. 1. 4	Standardで、各下水処理場において処理水の5%を上水道において再利用する。
Run113		Standardで、各下水処理場において処理水の10%を上水道において再利用する。
Run114	5. 2. 1	Standardで、下水道を1990年時点での計画人口に相当する分だけ普及させる。
Run115		Standardで、下水道の処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下とする。
Run116		Standardで、下水道を1990年時点での計画人口に相当する分だけ普及させ、処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下とする。
Run117	5. 2. 2	Standardで、下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽10%、単独浄化槽40%、くみとり50%とする。
Run118		Standardで、下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽10%、単独浄化槽48%、くみとり42%とする。
Run119		Standardで、合併浄化槽における一人当たり汚濁負荷量をBOD、COD、TNが4.0 g (g/日)、TPが0.4 (g/日) とする。
Run120		Standardで、下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽10%、単独浄化槽40%、くみとり50%とし、合併浄化槽における一人当たり汚濁負荷量をBOD、COD、TNが4.0 g (g/日)、TPが0.4 (g/日) とする。
Run121	5. 2. 3	Standardで、畜産業からの汚濁負荷を約10%削減する。
Run122		Standardで、水田からの汚濁負荷を約10%削減する。
Run123		Standardで、畑地からの汚濁負荷を約10%削減する。
Run124	6. 1. 2	Standardで、人口、土地利用、家畜飼育頭数を2000年の予測値に変更する。
Run125		Standardで、人口、土地利用、家畜飼育頭数を2000年の予測値に変更し、渡良瀬貯水池、奈良俣ダムを新設する。(2000年の標準設定)
Run126	6. 2. 1	Run125で、八ツ場ダムを新設する。
Run127		Run125で、戸倉ダムを新設する。
Run128		Run125で、生活系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系分を10%減らして、対象流域内及び流域外における生活系節水を行う。
Run129		Run125で、生活系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系分を15%減らして、対象流域内及び流域外における生活系節水を行う。
Run130		Run125で、生活系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系分を20%減らして、対象流域内及び流域外における生活系節水を行う。
Run131		Run125で、生活系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系分を25%減らして、対象流域内及び流域外における生活系節水を行う。
Run132		Run125で、有効給水率が85%未満の61の上水道事業体における有効給水率を85%にする。
Run133		Run125で、有効給水率が90%未満の75の上水道事業体における有効給水率を90%にする。
Run134		Run125で、有効給水率が95%未満の84の上水道事業体における有効給水率を95%にする。
Run135		Run125で、下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させて、処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下とし、さらに各処理場における処理水の20%を上水道において再利用する。
Run136		Run125で、下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させて、処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下とし、さらに各処理場における処理水の30%を上水道において再利用する。

表B-1 シミュレーションの略号と内容・続き

略号	章・節・項	内容
Run137	6. 2. 1	Run125で、生活系水使用量原単位、流域外導水量と最下流地点基準水量の生活系分を15%減らして、対象流域内及び流域外における生活系節水を行い、有効給水率が85%未満の上水道事業体における有効給水率を85%にし、さらに下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させ、処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下として処理水の10%を上水道において再利用する。
Run138	6. 2. 2	Run125で、下水道を1990年時点での計画人口に相当する分だけ普及させ、下水処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下とし、さらに下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽が10%、単独が40%、くみ取りが50%とする。
Run139		Run125で、下水道を1990年時点での計画人口に相当する分だけ普及させ、下水処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下とし、さらに下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽が50%、くみ取りが50%とし、単独浄化槽を禁止にする。
Run140		Run125で、下水道を1990年時点での計画人口に相当する分だけ普及させ、下水処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下とし、下水道以外の生活系排水処理は全部合併浄化槽とし、さらに畜産業と製造業で30%の負荷削減を行う。
Run141	6. 2. 3	Run125で、八ツ場ダムと戸倉ダムを新設し、有効給水率が80%未満の上水道事業体における有効給水率を80%にし、さらに下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させ、処理水質をBOD、COD、TNは20 (mg/Q) 以下、TPは1 (mg/Q) 以下として処理水の2%を上水道において再利用し、下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽が3%、単独が47%、くみ取りが50%とし、さらに畜産業で10%の負荷削減を行う。
Run142		Run125で、八ツ場ダムと戸倉ダムを新設し、有効給水率が80%未満の上水道事業体における有効給水率を80%にし、さらに下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させ、処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下として処理水の5%を上水道において再利用し、最下流地点の基準流量と利根導水路の設定導水路のうち農業系のものを10%削減し、下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽が5%、単独が45%、くみ取りが50%とし、さらに畜産業で20%の負荷削減を行う。
Run143		Run125で、八ツ場ダムと戸倉ダムを新設し、有効給水率が85%未満の上水道事業体における有効給水率を80%にし、さらに下水道を1990年の計画人口の分だけ普及させ、処理水質をBOD、COD、TNは10 (mg/Q) 以下、TPは0.5 (mg/Q) 以下として処理水の10%を上水道において再利用し、生活系水使用量原単位を5%削減し、最下流地点の基準流量と利根導水路の設定導水路のうち生活系を5%、農業系を20%削減し、下水道以外の生活系排水処理の比率を合併浄化槽が10%、単独が40%、くみ取りが50%とし、さらに畜産業で30%、製造業で5%の負荷削減を行う。





Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM, Kodak

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM, Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

