

5. アジアの学生とのサステナブル都市協働提案その2 ～水資源管理の視点から～

岡田明大^{1*}・Nafisah ABDUL RAHIMAN¹・本間蓉子¹・森崎領¹

¹芝浦工業大学大学院工学研究科建設工学専攻（〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5）

* E-mail: m510020@shibaura-it.ac.jp

本研究では、前回の結果を基に、アジアの学生とサステナブル都市形成の議論を行う際に、より分析し易くする為、水資源変遷をより詳細に、より構造的に捉え評価を行うことを目的とした。東京都の1972年から2007年の35年間の水消費量の減少分81ℓ を供給側と需要側の施策に分け、加えて、生活スタイルの変化や核家族化による増加要因も考慮し分析を行った。結果、都民一日一人当たり、節水型水洗トイレの導入で5.7ℓ ～8.4ℓ 、節水型洗濯機の導入で20.4ℓ 、再生水利用と雨水利用で6.7ℓ 、工場移転により8ℓ 、漏水対策によって55ℓ の節水量であった。また、生活スタイルの変化や核家族化によりこの節水量の内訳により66.8ℓ の増加があった。今後は、東京都で取り組まれてきた節水対策、効果の変遷をアジアの学生に示し、共に適応可能性について議論を深めていきたい。

Key Words : *Water Resource Management, Water Policy, Sustainable City, Water Saving Device*

1. はじめに

(1) 本研究の狙い

2010年5月から開催された上海万博において我が国の出展である水資源問題が中国の人々到大変注目されていたことから分かるように、現在水資源問題は地球規模の深刻な問題となっている。著しい経済発展と伴って水需要が急激に増加してきている途上国にとって水資源の確保は急務であり、限られた財政の中対応を迫られているのが現状である。

一方、先進事例である東京都では戦後高度成長期を経て水の需要が右肩上がりに増加してきた結果1978年にピークを迎えたがその後取り入れた節水政策が効果的に働き現在に到るまで水需要の減量に成功してきた。前回までの研究においては、需要側・供給側に分け、節水機器の調査、節水対策をマクロな視点で分析し東京都の節水対策効果を明らかにしてきた。本研究では、東京都における人口の変化・流動、家族構成の変遷、ライフスタイルの変化、経済成長などミクロな視点を加え、より具体的な節水効果を明らかにしていく。

世界的な水不足が懸念される21世紀において各国が

別々に対応をするのではなく可能な限りの情報を共有し、効率的に水資源問題に取り組んでいくことが今後望まれてくるだろう。本研究の成果を先進事例として学生ベースでアジア諸都市の学生と共に定期的に交流会を開き、議論を深めていく活動を行っている。

(2) 交流会の経緯

アジア諸都市のインフラ整備の急激性や日本の技術の適用可能性について日本とアジアの双方が意識するためには、将来の国土開発を担う学生の意識向上を図ることが重要だと考え、タイ・アジア工科大学の都市環境を専攻する大学院生を中心に様々な国々の情報を共有することを目的として研究交流を行っている。

(3) 交流会の効果

昨年度までの交流会を通じて、アジア諸国の現状と彼らの意識から水資源開発について抱える問題点が浮き彫りとなった。日本の迎ってきた水資源開発を詳細に伝えることで、日本の持つ良い点・悪い点を理解してもらい、今後彼らの母国の水資源開発にどのような視点が必要であるかを議論し、新規資源開発だけでなく需要抑制も並

行すべきとの共通見解に至り、一定の成果を感じている。

2. 東京都水資源開発と協働提案への課題

(1) 水資源開発の経年変化

東京都は非常に特殊な都市構造を持っている。戦後、高度成長期に東京への人口一極集中が起こり世界で初めて 1000 万人を超える巨大都市へと急成長した。また、図-1 に示すように都市機能が東京へ集中している為、隣接都市からの人口流入の多い開放型都市となっている。以上の経緯から東京では人口の増加による水不足が深刻となり図-1 に示すように、戦後の高度成長期に右肩上がりに増加を続けた水需要に適応するように、四度に渡る利根川からの導水、ダム

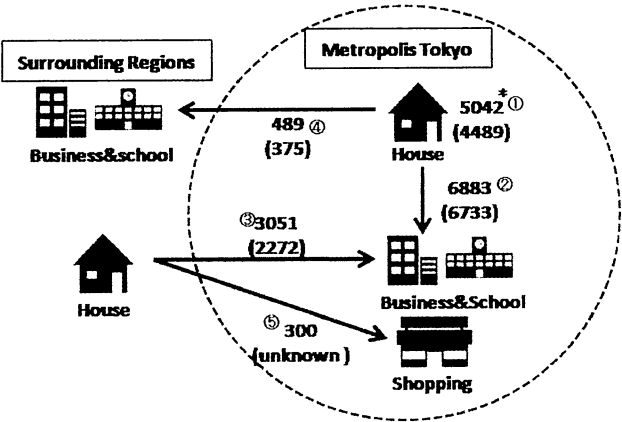


図-1 東京都における人口流動

設など水資源の開発を積極的に行ってきたのである。

結果、東京都における一人一日当たりの水資源量は 1980 年代後半まで伸び続け、500 ㍓ を超えるまでとなった。しかしながらこの値は、オイルショック以降、省資源省エネルギーの考えが生まれ後述する節水対策が導入されることでかなりの余剰を含んだ数値である。東京都では、本来必要な水資源を超えた開発が行われてきたことを示していると言える。

(2) 協働提案における課題

図-2 に示すように、過去、日本は水資源開発に重きを置いてきたことがわかる。しかし、節水対策を導入したことで効果的に水需要を減らすことができ、余剰水源が生まれた。節水における減少量の推測ができず、リスクの管理が十分ではなかったと言える。一方でアジア諸国においても、かつて経済発展途上であった頃の日本を同傾向にあり、このままでは日本と同じ様に将来的に水資源に余剰分が生じる可能性がある。そこで、日本の経験を生かし無駄な開発を行わないよう都市開発を行うよう提案を行っていく予定である。

3. 各節水対策の変遷と増加要因

それぞれの節水対策を需要側(民)と供給側(官)のふたつの視点に分けて考察を行う。節水効果は、節水型機器の導入の有無、技術の進歩により大きく変化してきた。以降、その技術の変遷を示す。

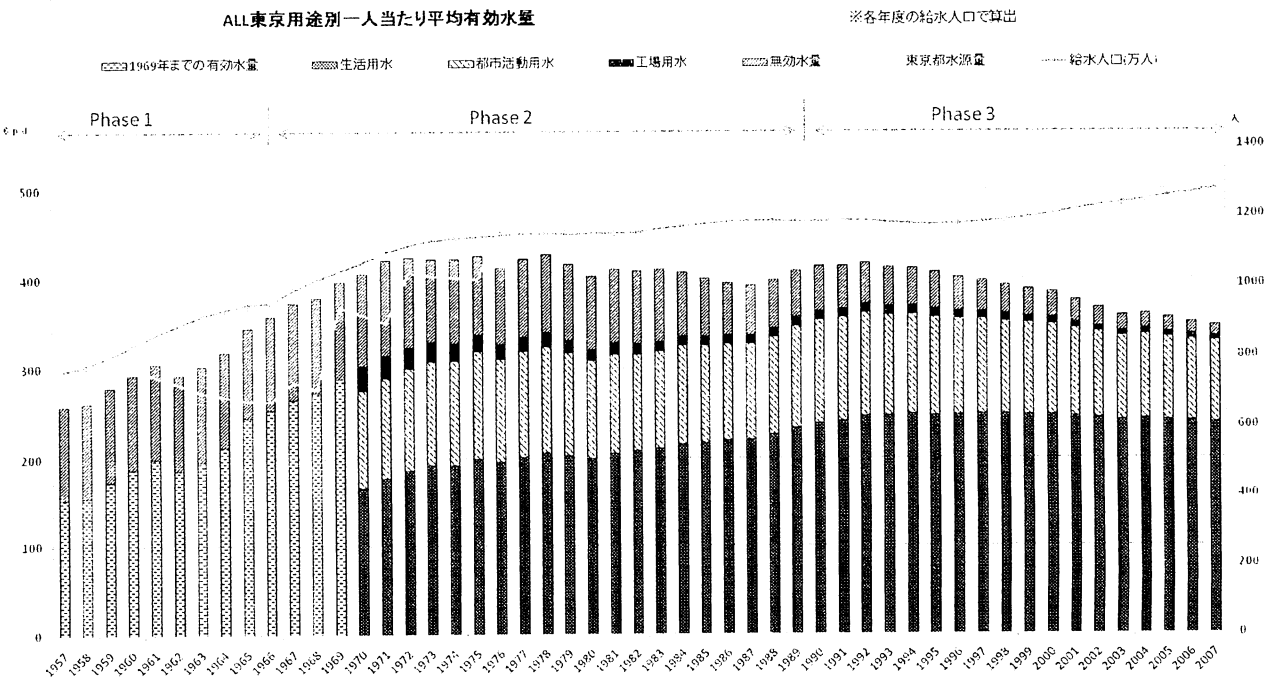


図-2 東京における用途別一人当たり平均有効水量

(1) 需要側の節水対策

a) トイレ

節水型水洗トイレ以前の男子用小便器は、複数の小便器を一定間隔で一括して洗浄する自動サイホン式ハイタンク式が主流であった。これは便器の使用に関係なく洗浄するもので、全く使用しない時間帯にも洗浄する為、非常に水利用の効率が悪い形式であった。以降、タイマーと電磁弁を組み合わせたハイタンク式が開発され、使用者のいない夜間や日曜・祭日などの洗浄停止を可能にするもの、更には、便器内の電気伝導が高くなった時に自動的に洗浄するタイプなどが開発された。そして現在では、人が便器の前に立ったことを赤外線等により検知して洗浄する自動洗浄式小便器が普及している。

一方、大便器について東京都では民間各メーカーが節水型大便器の開発に取り組む以前に、少ない水量で洗浄・搬送可能な便器の性能、洗浄水量と排水管径、勾配、搬送距離等の相関関係等を空気調和衛生工学会に委託調査している経緯がある。

b) 洗濯機

家庭用水のうち、洗濯用水はトイレ用水と並んで大きな割合を占めている。1973年に東京都では財団法人機電電子検査検定協会（現財団法人日本品質保証機構（JQA））に委託して実験・調査を行った。結果、ためすぎ、すすぎ前の脱水などが有効で有る事が判明した。同年8月にこの実験・調査に基づき、東京都水道局は、洗濯機を販売している各メーカーに対し、節水型電気洗濯機の開発・改良を要請し、各メーカーが節水型全自動洗濯機の開発に取り組んだ経緯がある。

翌年1974年2～5月には、各メーカーが開発した全自動式電動洗濯機の節水機能についてメーカー別比較試験と2槽式洗濯機のすすぎ効果について試験調査を行い、この試験調査の結果、以下の二つのことが確認されている。

・すすぎ前の脱水、ためすぎ等をプログラムに組み込

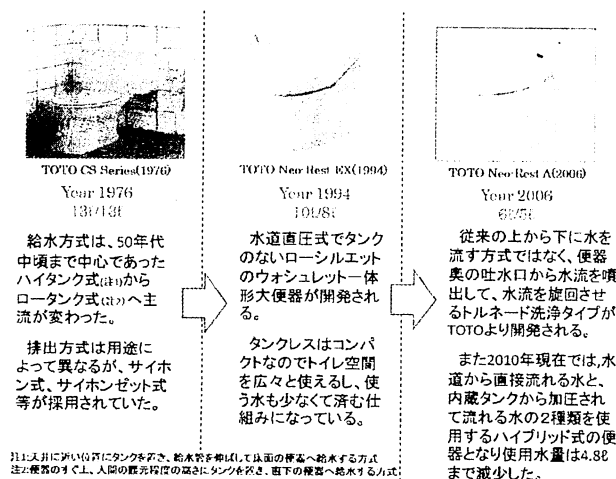


図3 トイレの技術変遷

むことにより、従来型の45～77%の水使用量で済み、洗浄度、すすぎ効果が従来型とほとんど変わらない。

・槽式洗濯機の流しすぎでは、洗濯物の布に残留する洗剤量は、すすぎの初期には急激に減少するが、ある時間を経過すると、それ以上すすいでもほとんど変わらない。

c) 雨水・再生水利用

雨水利用とは主に屋根などから雨水を収集し、貯蓄した雨水を必ずしも飲料水と同等の水質を必要としないトイレや散水などの用途に利用することである。

東京都では、1984年に策定された「雑用水利用にかかわる指導指針」において大口需要の新築ビル(延べ床面積3万㎡以上、循環利用料100㎡/日以上を対象)について循環利用による雑用水利用の協力を依頼してきた経緯がある。2003年には、「水の有効利用促進要綱」が策定され、延べ床面積1万㎡以上の新規建築物、開発面積3万㎡以上の開発事業(個別循環方式、地区循環方式の場合は延べ床面積3万㎡以上)へと対象を拡大し雑用水利用の協力依頼を行っている。現在では事業者全体の3割程度が導入を行っている。

現状は、多くの地方自治体において多くの問題点を抱えているが、墨田区では先進的な活動を行っている。墨田区では1982年の両国国技館への導入をはじめとして大型公共建築物への雨水利用設備の導入が盛んに行われていた。1988年には路地尊に雨水利用が導入され、コミュニティレベルでの雨水利用が図られた。その後、1995年に「墨田区良好な建築物と市街地の形成に関する指導要綱」が施行され、事業区域面積500㎡以上の建築物に雨水利用設備を導入するよう呼びかけ、民間施設への導入が図られた。この呼びかけは罰則が規定されていないが、運用コストが低く、複雑な機構を必要としない点から十分に機能している。

d) 事業者による対応

工場の東京外への移転・閉鎖や工場内における節水努力、雑用水利用などにより、工業用水の減少がおこったと考えられる。

また水道料金が逦増料金へと変更になり水消費によるコストが増大したため、工場では並行して再生水利用・雨水利用等の雑用水利用による節水対策の導入、また製造に係る水消費量の削減等の努力を行ってきた。

(2) 供給側の節水対策

a) 漏水対策

水道供給者側の対策としては、水を各需要者に供給する際に起こる漏水対策がある。主に以下の4つの漏水対策が挙げられる。

- ・配水時の水圧コントロール
- ・給水パイプ材質の変更（普通鉄管からダグタイプ鋼

鉄管 or ステンレス鋼管へ)

- ・漏水調査機器の開発
- ・地上流水の即時対応

(3) ライフスタイルの変化による増加

図-4 に示すように、東京都では戦後から今に至るまで核家族化が進み世帯当たりの平均人数が 1979 年の約 2.7 人/世帯から 2007 年には約 2.1 人/世帯まで減少してきた。また過去と現在を比較して同人数世帯の家庭内における一人一日当たりの水使用量も増加していることから、ライフスタイルの変化による水使用量の増加も考慮すべきである。水道施設設計指針と生活活動用水実態調査によれば、1971 年時点での 2 人家族世帯の家庭内における一人一日当たりの使用水量は 223ℓ /p・d であり、3 人家族世帯では 216ℓ /p・d、2003 年時点ではそれぞれ 268ℓ /p・d、239ℓ /p・d である。(※1971 年データは水道施設設計指針、2003 年データは生活活動用水実態調査より)

4. 節水効果の効果分析

(1) 需要サイドによる節水効果(ΔQ1)

この分野の対策には、節水型機器の開発・販売(便器と洗濯機)、下水処理水の循環利用や雨水利用、水道水を使う工場での回収水利用等がある。これらの対策では、関係者としての節水機器のメーカーや下水処理水の循環利用等を行う開発者などとの合意形成が得られるかどうか鍵を握っている。

節水機器の開発では、水道事業者の要請とメーカーの商品開発戦略が一致したため、対策はむしろ円滑に進んだと考えられる。使用一回当たりの必要水量の変化を見ると、便器では当初の 13ℓ から最近では 5ℓ ～ 8ℓ の削減、洗濯機では当初 165ℓ から最近では 100ℓ ～ 65ℓ の削減が各々果たされている。節水効果は、機器販売台数の統計数値が発表されていないた

め、国勢調査に基づく人口動態や建築統計をもとに推定した。

下水処理水の循環利用(個別循環)では、水道事業者の開発事業者への要請という形から始まり、それが建築指導要綱の形になるまでに数年の時間を要している。しかも、当初は延べ床面積 30,000 m²以上の建築物を対象としていたが、1990 年代には 10,000 m²以上に水準が引き上げられた。節水効果は、当該建築指導要綱の適用事例に関する東京都都市計画局から戴いた資料をもとに計算すると 7ℓ である。雨水の雑用水利用では、推進政策を積極的に進めているのは現時点では 23 区中墨田区のみであるので、同区の資料から試算しても現段階での効果は 0.03ℓ と微少である。

工場用水における節水効果は、用途別給水量に関する統計資料から計算することができる。それらには、都内の工場の移転促進政策による減少 1ℓ と工場内の回収水利用による減少 7ℓ の二つがあり、計 8ℓ の減少量となる。

以上の結果、需要側の節水対策による減少量 ΔQ1 は、次式の通りとなる。

$$\Delta Q1 = [\text{節水機器分}] 280 + [\text{下水処理水循環利用分}] 70 + [\text{雨水雑用水利用分}] 0.030 + [\text{工場用水減少分}] 80 = \text{計 } 430$$

(2) 供給サイドによる節水効果(ΔQ2)

この分野の対策には、当初 30%以上もあった漏水の削減と水道検針メータの不具合による不感水の削減の二つがある。東京都の場合、漏水対策コストよりも広域導水に伴う水道水の原価アップのほうがはるかに大きいという試算があったことが、漏水対策を推進する材料となった。また、600 万戸にもものぼる水道検針メータ台帳が管理されてきたというしっかりとした事業体制が存在したことも、その基礎として重要であった。現在、東京の漏水率は 3%以下で、世界でも最高水準にあるといわれる。

その結果、これらの供給側の節水対策による減少量 ΔQ2 は、次式の通りとなる。

$$\Delta Q2 = [\text{漏水分}] 550 + [\text{不感水分}] 150 = 700$$

(3) 節水行動による節水効果(ΔQ3)

ここでは、水道事業者による広報活動や水道料金の値上げ(逓増料金制度の強化を含む)によって誘発された人々の節水行動による節水効果を分析する。

水道事業者の広報活動では、水資源を利根川水系に求めなければならない東京都の苦しい台所事情を説明するためのパンフレットや教材の作成、節水コマの開発と頒布、節水を呼びかけるポスターの作成、

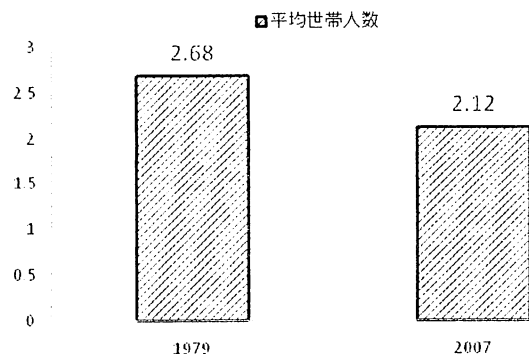


図-4 平均世帯人数の変化

水道モニター制度の導入など多様な対策が導入された。

広域導水に伴う原価アップから不可避となった料金値上げでは、広域導水が開始されてから政党間の調整を終えるまでに 10 年近い歳月を必要としている。特に通増料金制度の強化を見れば、革新政党は公平性の観点から大口需要者への課金強化に賛成の立場であるのに対して、逆に保守政党は逆に自由な企業活動を妨げるという観点からこれに反対の立場にあったのである。

ただし、このような需要者の節水行動による減少量を直接試算することは難しい。本稿では、後述するように、節水効果全体から逆算する形で推計する方法によることとする。

(4) ライフスタイルの変化による水需要増加(ΔQ4)

節水対策導入以降の社会経済条件の変化に付随して給水量を押し上げ、増加させる要因があり、これによる給水量の増加も考慮しなければならない。その要因には、主に家族構造の変化（核家族化）による水消費のムダとその間に生じたライフスタイルの変化に伴う水消費量の増加がある。

家族構造の変化に関しては、国勢調査の結果から、この間に東京の家庭の平均人員は 1978 年の 2.8 人から 2007 年の 2.1 人に大きく減少していることが示される。また、水道事業者の水道モニター調査からは、家族規模別に見た一人一日当たりの給水量が各年度ごとに示されている。これらのデータに基づいて、二つの要因による給水量の増分を合算して試算することができる。

その結果、給水量の押し上げ要因による増加量 ΔQ4 は、次式の通りとなる。

ΔQ4 = [2007 年：2.1 人家族における一人一日当たり給水量] 2700 - [1979 年：2.7 人家族における一人一日当たりの給水量] 2260 = 440

(世帯における一人当たりの使用水量は図-5 参照)

(5) 総合的な節水効果試算(ΔQ)

以上の分析をふまえて、最終的な節水対策による削減量 ΔQ (=810) は、次式の通りとなる。

ΔQ = (ΔQ1 + ΔQ2 + ΔQ3) - ΔQ4 = 810

減少要因分として、需要側対策分 ΔQ1 = 430 と供

Number of persons per household	1971	1979	2003	2007
2	223	234	268	274
2.12				270
2.68		226		
3	216	222	239	242

図-5 世帯における一人一日当たり使用水量

給側対策分 ΔQ2 = 700 で計 1130、増加要因分 ΔQ4 = 440 と各々算定されたので、逆算することにより未知であった節水行動分 ΔQ3 = 120 と推算できる。

以上の結果、東京の一人一日あたりの給水量は、1979 年度のピーク値の 4280 と比べ、節水対策による総減少量は 810 (19%の減少率) で、節水対策別に見た重みでは、需要側対策分 (ΔQ1) : 供給側対策分 (ΔQ2) : 人々の節水行動分 (ΔQ3) ≒ 3 : 6 : 1 であることが示された。

5. 今後の課題

(1) 経済変化と水資源

図-6 に経年的に一人当たりの GDP の変化と各機器の普及率と配水量の関係を示した。なお、参考として東京都における廃棄物排出量の変遷も同時に示した。経済成長とともに機器の普及率は増加する傾向にある。グラフにも示した温水器や温水便座のような水消費に係る製品の急激な増加からも経済成長による水消費の増加がうかがえる。

しかし、水の配水量、廃棄物の排出量も経済成長に伴うライフスタイルの変化により増加を続けると予測されていたが、結果として減量対策の導入後、現在に至るまで減少を続けている。また、一人当たり 700 万円を境に GDP の増加率よりも製品の普及率が急激に高くなっている。以上から経済成長と水資源との関係について以下の 3 点に注目して今後の研究を進める必要があると考える。

- ①洗濯機に代表されるような普及しきった製品が、省エネルギー化された新製品に急速に置き換わることによる節水効果と GDP の関係 (水消費減少要因)
- ②食器洗い機などの新しい製品の普及と GDP の関係 (水消費減少要因)
- ③生活水準の向上による所謂贅沢品の普及と GDP の関係 (水消費増加要因)

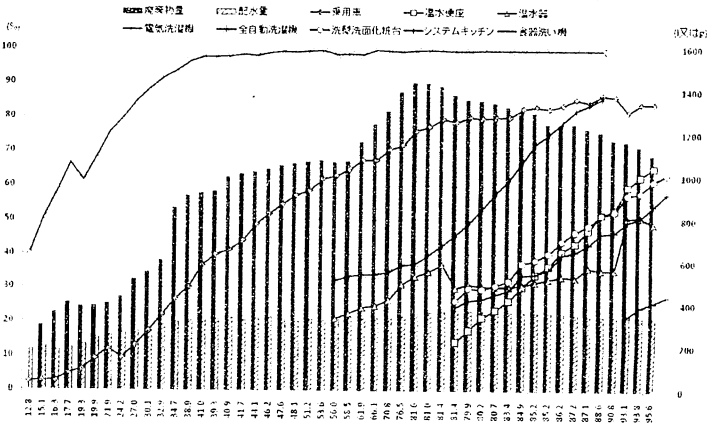


図-6 GDP と水消費量・製品普及率の経年変化

6. さいごに

東京は高度経済成長に伴い水需要が増加し水資源開発と共に節水を進めた結果、本研究で示した様な成果を上げてきた。しかし一方で、節水による水需要の減少量を推測できず余分に水資源開発を進めてしまったという問題もある。

アジア諸国は、今現在急速な経済発展が進んでおり深刻な水需要問題に直面しているが、マーケットの問題による普及率の低迷、政治的理由により節水対策導入が困難である、宗教的な問題から節水対策に踏み込めない(イスラム教徒では習慣から再生水利用が難しい)などの各国の特徴がある。

例えばマーケット問題として、アジア諸国には既に節水機器が導入されているが、これらの節水機器は主に富裕層に向けた製品となっているため十分な普及率であるとは言えない。今後、所得別に製品を開発し提供する等、低所得者に向けた節水意識の向上が図ることができれば、日本が経験した余分な水資源開発等のリスクの回避にも繋がるだろうと考えられる。

よって、今後、以上の様な視点を持って、研究・交流会を継続していきたいと考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、終始ご指導賜りました芝浦工業大学教授松下潤博士に、心より深く御礼申し上げます。また、東京における水系インフラの情報を提供してくださった、東京都水道局・下水道局、ダグタイル協会の皆様に厚く御礼申し上げます。バンコクにおける水系インフラの情報を提供してくださった、バンコク首都圏長の排水・下水対策課の Chanchai Vitoonpanyakij 次長、Somchai Sornvanee 氏、都市計画中央開発課 Urai

Aramvongtragul 次長、チュラロンコーン大学教授 Sucharit Koontanakulvong 教授、UBA の Lersak Yooyuenyong、アジア工科大学 Vilas Nitivattananon 准 教授に御礼申し上げます。

参考文献

1) 東京都水道局：東京都近代水道百年史，1999。
2) 東京都水道局：事業概要（平成19年度），2007。
3) 東京都水道局：東京都第四次利根川系拡張多摩水道施設拡充事業誌，1999。
4) 東京都水道局：節水の習慣
5) 藤井利治：節水意識の高揚と節水施策の評価，水道協会雑誌第71巻第7号，pp. 3-14，2002。
6) 藤井利治：水を嵩む 地球温暖化のもとでの水資源開発，文芸社，2005。
7) グループ・レインドロップス：やってみよう雨水利用，北斗出版，2008
8) 墨田区役所環境保全課
http://www.city.sumida.lg.jp/sumida_info/kankyoku_hozen/anamizu/index.html

表-1 節水対策における節水量の内訳

区分		要因	計算方法	増加量 (ℓ/人・日)
増加要因		核家族化とライフスタイルの変化	1979年と2007年の平均世帯人数・平均世帯人数当たりの家庭内使用水量を算出し、その差を都民一人当たりの値に換算	66.8
区分		要因	計算方法	減少量 (ℓ/人・日)
減少要因	需要者側	節水型トイレ	1994年以降に節水型トイレが開発・導入された場合（現実）と全く導入されなかった場合の差を求め、それを節水効果量と推定	5.7～8.4
		節水型自動洗濯機	節水型洗濯機が開発・導入された場合（現実）と全く開発・導入されなかった場合の使用水量の差を節水効果量として推定	20.4
		雨水利用	貯留タンク量とタンクの年間交換回数から一年に使用される雨水水量(墨田区)を算出。その他を都民一人当たりの値に換算	0.03
		雑用水利用	1984年「雑用水利用にかかわる指導指針」2003年「水の有効利用促進要綱」より3割の事業者が導入。合計値を都民一人当たりに換算 個別循環で4.2ℓ、地区循環1.8ℓで、広域循環0.7ℓでとなる。	6.7
		工場等における節水効果	1979年から2007年における工業用水減少量を都民一人当たりの値に換算	8
		その他(人々の節水意識向上等)	総減少量と減少量・増加量の値の差	29.3～32
	供給者側	漏水対策	1979年から2007年における漏水量減少分を都民一人当たりの値に換算	55
		その他(不感水量等)	1979年から2007年における不感水量等減少分を都民一人当たりの値に換算	20
総減少量(1979年-2007年)				81.3