

水循環・再生に関する基礎調査(2)

1. はじめに

平成7年度末における全国の下水道普及率は54%に達し、水洗化普及事業としての下水道事業は着実に進捗している。また、下水処理水量も年間約110億トンを超え、水循環に占める人工系の比率は年々高まってきている。その一方で、都市に暮らす人々のより良好な都市環境を求める声も高まりつつあり、こうした時代の趨勢に合わせ、水循環再生下水道モデル事業に代表されるような親水整備、アメニティの確保といった、かつての下水道事業とは趣を異にする事業が様々に行われるようになり、今後もそういった取り組みが期待されつつある。

このような新たな下水道事業への取り組み、ニーズに対して、平成7年7月の都市計画中央審議会答申「今後の下水道はいかにあるべきか」の中で、「下水道の質的向上」が大きく挙げられるなど、下水道事業のあり方そのものが大きく見直されつつある。これは水循環を軸として、人と水との新たな関わりの中で下水道事業の役割を再構築するとともに、21世紀の街づくりや水循環再生の一翼を担う下水道事業の「総合行政への転換」を求めるものである。また、平成7年3月の河川審議会の答申「今後の河川環境のあり方」においても、河川事業における望ましい水循環再生の必要性が要請されており、これらの答申を受けて、建設省下水道部と建設省河川局は「都市の水循環再生構想策定マニュアル」づくりを

行うこととし、平成7年度から検討が行われている。

このような背景のもと、建設省都市局下水道部では平成7年度から水循環再生のための構想づくりや具体的施策等を含む構想案をまとめるための「水循環再生と下水道の役割に関する検討会」を発足し、東京都、横浜市、名古屋市、福岡市の4都市において具体的な構想づくりをケーススタディとして実施してきた。本調査はこの検討会で審議してきた内容を①課題の分析、②目標の設定、③目標達成度の把握、④効果の把握としてまとめたものである。また、構想づくりの手法として、従来、下水道事業としてまとめ切れていなかった親水空間の具体的整備方法を示すものとして「都市の水辺環境形成の手引き(案)」を作成した。

2. 水循環再生構想の検討

平成7年度の基礎調査においては、従来の下水道の発想にとらわれず、広く市民の目から見た「人と水との新しい関わり」を提案しながら、水循環再生における下水道の役割を検討し、水循環再生のための構想づくりや具体的施策等を含む構想案のとりまとめに関する調査を行ってきた。今年度の調査では、水循環再生構想をより具体化するため、特に課題の分析、目標の設定及び効果の把握手法について検討を行った。図-1に検討の流れを示す。

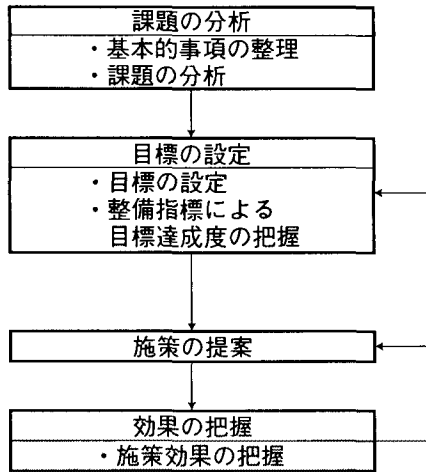


図-1 水循環の再生に係わる検討の流れ

2.1 課題の分析

課題の分析では、当該地域の水循環上の課題を把握するため、水環境や都市環境（自然条件・社会条件）の特色を把握できるような資料収集を行い、基本的事項の整理を行う。なお、基本的事項の整理は以下の4項目について行うこととした。

- (1) 水環境の調査
過去・現在における水環境（河川、港湾、閉鎖性水域）の整備状況
- (2) 都市環境の調査
過去・現在・将来における自然及び社会条件
- (3) 上位計画及び関連計画の調査
- (4) 住民からの意見整理

(1)~(3)の資料は、過去から現在にわたって量的把握・質的把握を行うために必要なデータであるが、特に(1)のデータは関連する部局（下水道・河川・環境保全・水道等の部局）が多く、データの調査地点・調査頻度・方式等が部局間で異なり、収集には時間を要する場合は考えられる。そこで下水道、河川関連の資料を中心にとりまとめ、先行して分析を行い、適宜、必要に応じて資料収集を行い、精度を上げることが望ましい。地理情報システム（GIS）等が整備されている場合には、それを活用することで、基本事項の整理がより簡便となる。

基本的事項の整理で収集された資料から、当該地域における社会環境及び水環境上の課題を整理し、それらを要因別（水量、水質、空間的要因）に分類する。

図-2に示すように1つの社会環境上の課題について、複数の水環境上の要因が関連する場合もある。例えば、過去に行われていた川に関する祭事を復活させるには、水量、水質、空間のすべての要因

が関連するため、目標の設定時には3つの要因について考慮する必要がある。

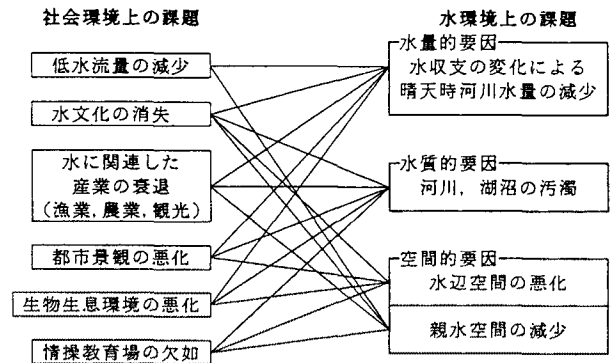


図-2 水環境の要因に関する課題の分析

2.2 目標の設定

水循環再生のための目標の設定は、課題の分析をもとに当該地域の特性を勘案して行う。この際、地域の水循環を過去の自然系水循環のみに戻すのではなく、現在及び将来における都市の利便性の確保や都市計画等の上位計画との整合を図った望ましい人工系水循環のあり方についても考慮し、持続可能な目標を住民にもわかりやすい形式（量、質、空間等）で表示することに留意する。なお、構想の策定対象が複数の流域等で構成されている場合は流域（ブロック）毎にその地域特性に合わせた目標を設定することが望ましい。目標の設定例を表-1に示す。

表-1 目標設定例

目標の形式	目標設定例
水量	豊かな水の流れを確保する。 水のリサイクル率を向上させる。 災害に強いまちをつくる（非常用水自給率の向上）。
水質	……が住める水辺をつくる。 水遊びのできる水辺をつくる。
空間	近づきやすい水辺をつくる。 散歩できる水辺をつくる。 景観の良い水辺をつくる。

2.3 整備指標による目標達成度の把握方法

目標の達成度を把握するため、水量・水質・空間整備及びそれらが複合した整備指標を設定することが望ましい。なお、以下に示す整備指標はある地点での評価となるため、環境基準点等の測定箇所を地域内に面的に配備し、それらの総数に対する達成比

率を求めることが考えられる。また、目標値については、地域特性や水辺の周辺状況を勘案した上で生物の生息環境にも配慮して設定することが望ましい。

(1) 水量に関する整備指標

人工系の水循環システム（上下水道）は、自然系の水循環とともに都市の水循環を形成しているが、両者のバランスには不均衡が生じてきている。特に自然系水循環の一部である地下水は、下水道の不明水として、取り込まれることも多くなってきており、自然系の水資源の減少とともに、結果として、下水管渠の流下能力低下にもつながっている。そこで都市水源（貯留雨水、浸出地下水、下水処理水等）の利用を都市流域内の水資源利用率として表現することや、下水道に流入している地下水を分離し、直接河川へ放流することにより、河川の低水流量確保に利用する場合の整備指標を水収支図と併せて活用することにより、目標の達成度を把握することができる。

1) 都市流域内の水資源利用率

流域内で得られる貯留雨水量、再利用処理水量及び浸出地下水量の和と流域内の利水量の比を水資源利用率とする。

$$\text{水資源利用率} = \frac{\text{貯留雨水量} + \text{再利用処理水量} + \text{浸出地下水量}}{\text{流域内の利水量}}$$

2) 分離地下水による河川低水流量の確保（河川流量復元率）

地下鉄やビルの地下ピット内の浸出地下水や湧水が下水道に流入している場合、これをオープン水路や暗渠により、河川等へ直接放流することができる。このとき、その放流量と低水流量との比率を河川流量復元率とした。

$$\text{河川流量復元率} = \frac{\text{地下水の直接放流量}}{\text{低水流量}}$$

(2) 水質に関する整備指標

水質に関する整備指標については、以下の項目が考えられる。

- 1) 化学的指標……BOD, DO, SS
- 2) 物理的指標……透視度, 臭気
- 3) 衛生的指標……大腸菌群数

対象地域の水量に関する水循環の概要は、年間の晴天時、雨天時を考慮した水収支計算によって表現できるため、この結果に水質を考慮することで、

BOD 等による負荷量収支を表すことも可能である。また、修景水路及び親水水路については、「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル（案）」により、目標水質に関する指標が記載されている。なお、同マニュアル（案）では、藻類や発泡の抑制、水生生物の飼育に関する水質項目も併せて示している。

(3) 空間に関する整備指標

親水空間に関する指標として、以下のようなものがある。なお、目標値については、地域住民を対象とした水循環や水辺に関するアンケート調査結果をもとに設定することが望ましい。

$$1) \text{水辺の密度 (m/ha)} = \frac{\text{市街化区域内水路及び滞水池の水際線の延長}}{\text{市街化区域面積}}$$

$$2) \text{水辺面積率 (\%)} = \frac{\text{市街化区域内水路及び滞水池の水辺面積 (ha)}}{\text{市街化区域面積 (km}^2\text{)}}$$

$$3) \text{水辺への到達距離} = \frac{1}{2} \times \frac{\text{市街化区域面積}}{\text{市街化区域内水路及び滞水池の水際線の延長}}$$

$$4) \text{一人当たり水辺延長 (m/人)} = \frac{\text{市街化区域内水路及び滞水池の水際線の延長}}{\text{市街化区域内人口}}$$

5) 「近自然型川辺づくり」等による水辺整備率

$$\text{水辺整備率} = \frac{\text{整備済延長 (箇所)}}{\text{整備計画延長 (箇所)}}$$

(4) 複合指標

複合指標は、生物の生息環境を基準とした水量、水質、空間整備に関連する指標である。

1) 魚類による環境指標

従来から都市河川に生息していた魚類の生息状況により、河川流量（流速、深度）や水質状況及び、魚類の生息に影響を与える河川工作物の影響を評価することができる。なお、対象とする魚種は、個別河川における貴重種なども勘案の上、魚類生息実態から区分される区間ごと（上、中、下流域）に設定する。

2) 底生動物による環境指標

「底生動物による河川水域環境測定法」による肉眼で判別可能な大型底生動物（体の一部が2mm以上）の分類、同定結果から、河川の水質汚濁状況や人工的な河川工作物（コンクリート護岸等）が環境に与える影響を評価する。

3) 水生生物による環境指標

「水生生物による水質の調査法」をもとに、

全国に広く分布し、分類が容易で水質に係る指標性が高い16種の指標生物の生息状況から、4段階の水質区分を行っている（BODは目安値）。

- I（きれいな水 BOD2.5mg/l以下）
 - II（少し汚れた水 2.5<BOD<5.0）
 - III（汚ない水 5.0<BOD<10.0）
 - IV（大変汚ない水 BOD10.0mg/l以上）
- 4) 生物の多様性評価指標

shannonの多様性指数がある。これは同一の食物連鎖レベルにおける種の多様性を評価するものであり、生物の総量のみでなく、その生息バランスを評価する指標である。なお、地域特性に応じて、絶滅種の保護など種々のケースが考えられるため、多分野の技術者との協調により、目標の設定を行う必要がある。

2.4 効果の把握

都市の水循環再生事業にあたっては、地域住民の理解が最も重要であるため、アンケート調査等から得られた水循環再生に関する住民のニーズをもとに、地域住民が理解しやすい効果の把握手法を提案していくことが重要であると考えられる。

効果の把握手法には、費用対効果（B/C）を評価する方法や良好な水環境の創出から得られる文化や住民の満足度のような無形の効果を把握する方法等が考えられる。

(1) 代替案との比較による評価

水循環・再生施設を他の代替施設で置換えた場合の費用と比較する方法である。

- 1) 処理水の再利用設備投資額と上水道やダム開発費用との比較
- 2) 雨水流出抑制施設（浸透ます等）とそれに対応する管渠の面整備費用の比較
- 3) 非汚濁水（地下水等）の分離費用とそれが下水処理された場合のランニングコストの比較

(2) 水循環再生施策の経済波及効果による評価

水辺の回復や雨水の貯留・浸透等により、水循環が再生された場合を想定し、環境の改善効果による地価の上昇や観光価値の向上などから経済波及効果を金額で試算し、水循環再生の事業費と比較して、効果を評価する。

(3) 施策の事業費に対する市民の負担可能額での評価

水循環再生のための水辺回復や雨水の貯留・浸透などの施策について、総事業費を算出する。また、施策実施後の水循環再生のイメージを市民に対して提示し、施策実施に伴い、住民が許容できる負担金

額をアンケート等より調査し、両者を比較して、施策価値を評価する。

(4) 市民の文化活動度（参加人数、水文化の復活度）による評価

水環境の改善による地域文化・教育の活性化の度合いを評価する。

- 1) 水に関する祭事の復活件数（花火大会の復活等）
- 2) 水環境の保全に関するボランティア参加人数
- 3) 市民関心度の高い生物の復活（蛍や鮎の復活）
- 4) 自然に親しむ野外教育環境の提供（水生昆虫の棲む水辺、博物館）

3. 水循環再生に関する ケーススタディの検討

水循環再生に関するケーススタディをもとに、水収支図による課題の分析を行った。その結果、都市の水循環上の課題として、地域性に応じた人工系と自然系の水循環バランスの確保と環境に配慮した水辺環境の創出を挙げ、施策事例案を提案した。

3.1 水収支図による課題の分析

都市化の急激な進展によって、都市の水循環は大きく変化してきている。その変化を市街化前後の水収支の比較によって知ることが可能である。図-3、4はY市のある河川流域における市街化前後の水収支を示したものである。この水収支図からもわかるように、40年足らずの間に都市の水循環は「雨水」に代表される「自然系の水循環」から「上下水道」に代表される「人工系の水循環」の関与へと大きく変化してきている。その影響は、表面流出量の増大や流域外の水源への依存等に見られ、いわゆる「都市型水害」や「都市渇水」の増大をもたらす結果となっている。特に都市域においては、「人工系の水循環」は「自然系の水循環」より、水収支に占める割合は大きく、都市の水環境は人工系の水循環の影響を大きく受けることとなっている。これらの水循環の姿は都市化によってもたらされた結果ではあるが、この姿を元に戻すことはかなり困難なことであり、現実的ではない。むしろ、水循環系の大きな変化を認識した上で、都市にとってどのような水循環が必要なのかを考え、それを実現していくことが要請される。都市型水害の防止や都市渇水の抜本的な解決は、都市の水循環の健全化による水環境の実現によって達成できるのであり、そこに都市の水

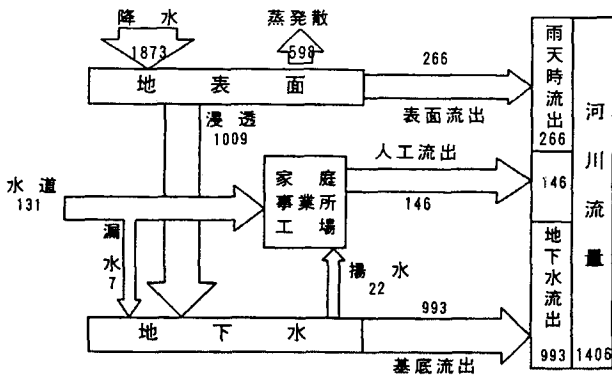


図-3 市街化以前の水収支 (1954年)

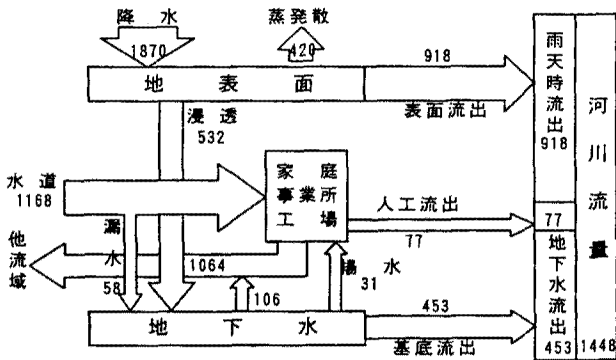


図-4 市街化以降の水収支 (1993年)

循環再生の意義があるものと思われる。また、これらの課題を解決していくためには、地域特性に応じた人工系と自然系の水循環バランスの確保並びに環境に配慮した水辺環境の創出が考えられる。

3.2 施策事例案の提案

大都市では従来から合流改善事業として、さまざまな取り組みが行われている。その多くは遮集倍率の変更や初期降雨の遮集による汚濁負荷の排出抑制が主眼となっている。しかし、合流式下水道の仕組みの原点に立ち返ってみると、究極の合流改善は、雨水の流出抑制と非汚濁水の分離にあると考えられる。極端に市街化の進展した都市の中で、非汚濁水を分離することは大きな困難を伴うが、実際にこれ

を下水道事業として実施している事例を紹介したい。スイスのチューリッヒ市では1986年から合流改善事業として、非汚濁水の分離によるせせらぎ回復事業を実施している。これは合流式下水道に取り込まれた非汚濁水を地上に復活した小川に流し、小川を近自然に再生することによって、せせらぎとしての自然を市内に創出するものである。分離する非汚濁水は図-5に示すようなもので、合流式下水道の整備により失われた小川(1850年と1980年の地形図の比較より抽出)を再生対象としている。再生する小川のタイプは図-6に示す3タイプで、1996年までに再生された小川の延長は12.6kmに及んでいる。本事例は、人工系の水循環に取り込まれてしまった水を自然系の水循環に戻すことによって、失われていた人工系・自然系の水循環のバランスがうまく再生された事例と言える。また、ここでは小川の近自然化によって、都市化により大きくゆがめられた水循環の蒸発散量と生物生息環境の回復とが可能となっている。このように今まで下水道事業と無関係と考えられていた施策も水循環再生の視点から見直すことにより、新たな下水道事業として提案することが可能となった。そのいくつかを次に示す。

(1) ビル、地下鉄内に浸出した非汚濁地下水の分離
分離した非汚濁地下水をせせらぎ水路の水源として利用した後で、都市内の河川に直接放流することが考えられる。また同施策より、下水管渠に流入する非汚濁水量を減少させることができるため、管渠の流下能力向上とともに、下水の処理効率向上が期待できる。

(2) 水のリサイクルによる水資源の確保

下水処理水や貯留した雨水等を都市用水の一部に取り入れることで、自然系の水資源を節約することができる。また、非常時における水資源の確保にも寄与することができる。

(3) 雨水浸透による地下水涵養

地下水の涵養機構については不明な部分も多いが、浸透ます等により雨水浸透を積極的に行うことで湧水の復活や都市河川の低水流量の増加が期待できる。また、雨水の表面流出量も抑制されるため、浸水に対する安全性も高まるとともに、合流式下水道の雨水吐からの越流による汚濁負荷を減少することができる。

(4) 水と緑のネットワーク化

これまでの公園整備等、人々の憩いと安らぎの場の拠点整備に加え、これらの拠点に対して、道路や歩道等の緑化・水辺空間の整備等による線的整備を行い、水と緑のある都市空間づくりを推進する。

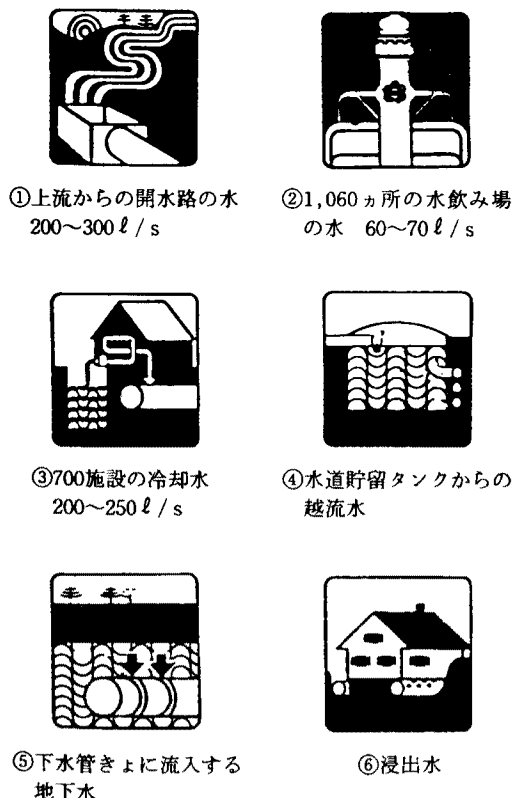
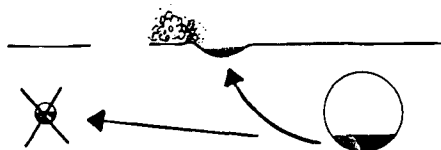
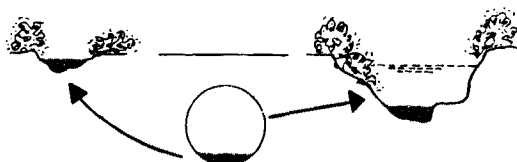


図-5 分離される非汚濁水

①非汚濁水の分離による小川の再生(およそ20~25km)



②枯渇した小川の復活(およそ10~15km)



③三面張り水路の改造(およそ15km)

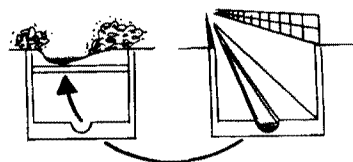


図-6 再生する小川のタイプ

4. 「都市の水辺環境形成の手引き(案)」の作成

水循環再生に関する課題のうち、下水道事業が関与するものの1つとして、水路(下水道雨水渠等)の水辺環境改善・創出が挙げられるが、同施策を実施する場合の目標設定方法や具体の施策手法について、未整備な点の多いことが指摘されている。そこで、下水道事業者がせせらぎや親水空間の整備を行う場合の手引きとなる「都市の水辺環境形成の手引き(案)」を作成した。同手引きでは、基本計画、事業計画～実施設計、施工、維持管理の各実施段階における留意事項について解説を行っており、せせらぎ・親水空間の整備事例集として、水循環・再生下水道モデル事業を実施している自治体を対象としたアンケート結果やチューリッヒ市(スイス)における事業事例の紹介を行っている。以下に同手引きの目次構成を示す。

1. 基本計画策定段階での留意事項

- 1.1 せせらぎ、親水部対象水路の法的位置づけ
- 1.2 事前調査における留意事項

- 1.3 住民参加手法について
- 1.4 せせらぎ、親水空間の整備イメージの決定方法
- 1.5 都市計画(上位計画)や他事業との連携方法
- 1.6 整備指標の設定

2. 事業計画～実施設計時における留意事項

- 2.1 雨水流下能力の確保について
- 2.2 用地の確保・活用方法について
- 2.3 空間整備手法
- 2.4 平常時水量確保の手法
- 2.5 水質に関する留意事項
- 2.6 安全対策
- 2.7 関連制度(補助、制約)
- 2.8 施策効果の評価方法

3. 施工時における留意事項

- 3.1 基本方針
- 3.2 施工時期
- 3.3 生態系を考慮した施工方法

4. 維持管理時における留意事項

- 4.1 維持管理方法の検討
- 4.2 環境教育

5. せせらぎ・親水空間の整備事例集

- 5.1 日本における整備事例
- 5.2 海外における整備事例

5. おわりに

水循環再生を考えると、都市の中での水と人との関わりを考えると大きなヒントを与えてくれる。従来の下水道事業の枠にとらわれることなく、水循環の再生によって創出された都市の自然環境が、そこに生活する人々にやすらぎを与えることが可能であることを十分認識した上で、下水道事業が水循環再生に貢献できる姿をイメージすることが、新しい下水道事業の役割を理解する助けとなるであろう。

今国会に提出された河川法の改正案では、河川事業の目的として、従来の「治水」「利水」に「環境」を加えることがうたわれている。しかし、1つの河川水系の中で水循環を捉える場合には、河川のみでなく流域全体の水循環再生に対して、「環境」という事業目的を推進していく必要がある。

このような広域的・効果的施策の展開を行うために、従来から面的な整備を実施してきた下水道事業の果たす役割は大きい。今後は「環境」を下水道の事業目的として捉えていくことにより、真の意味で環境施策の一部に下水道事業が位置づけられていくものと思われる。また、環境施策としての下水道事業の実施及び技術的な手法の整備を進める上で、関連する法制度等の整備についてもあわせて検討して行く必要がある。本調査報告書の提案が、時代の変化を敏感に感じ取り、これからの下水道事業の役割を考えていく上でのヒントになれば望外の喜びである。

●この調査に関する問い合わせは

研究第二部長

研究第二部主任研究員

研究第二部研究員

研究第二部研究員

研究第二部研究員

研究第二部研究員

前田 正博

中田 穂積

森岡 真一

石川 泰裕

久保田勝一

苧木新一郎