

2002/02/11

第3回 生態系モニタリング調査手法検討作業委員会 資料 —大草における水環境調査手法の検討—

東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻 篠村 善徳

1. 水環境調査の意義

都市の周辺に位置し、二次的な自然や農業が残存する里地地域は、生物に貴重な生息地を与え、また人々にも身近なレクリエーションの場を提供するという役割も担っており、近年、再評価されている。しかし一方で、都市の周辺部に位置するため、その自然は住宅地などの開発を受けやすく、また圃場整備や農薬散布をはじめとする人為的なインパクトも受けやすい。特に水環境に着目すると、人為インパクトによって次のような影響を受けると考えられる。

- 1) 水源涵養域において森林伐採を伴う開発行為（主に住宅地開発）がおこなわれた場合、保水能力の低下を招き、谷部の湧出流量が減少し、少雨期に枯れる。また、降雨時は短時間に流量が増加する。
- 2) 水源涵養域において畑地の開発がおこなわれ、化学肥料が大量に用いられた場合、窒素が流出し、谷部の湧出水の水質が汚染される。
- 3) 圃場整備等によって、水路が土水路からコンクリートU字溝に整備された場合、排水溝としての機能が高まり、水は速やかに流下してしまう（生物は生息できない）。また、植物による水質浄化機能（特に窒素分の吸収）が低下する。
- 4) 水路に家庭排水が流入し、水質を汚染する。
- 5) 水田において農薬が散布された場合、水質は有機汚染される。

今回事例とした千葉市若葉区大草の谷津においても上の1)～4)にあげた人為的なインパクトが予測され、それに伴う水環境への影響が懸念される。水環境の変化は、直接的に水生昆虫や植物の生息環境に影響を与え、また湧水灌漑の場合、水稻耕作にも影響を与える。また、河川の汚染にも繋がりがかねない問題であり、大きくとらえれば、私たちの実生活とも関わってくる。

そこで、里地地域において、人為的なインパクトが水環境に与える影響を把握するための調査手法を検討し、手法を確立していくことが重要である。

2. 調査地・測定地点の選定

調査手法を検討するために、千葉市若葉区大草が選定された。ここは、およそ12万5千年前に形成された下総台地と、それを樹枝状に大きく刻む3本の枝谷津からなる。台地上の標高は37～40m、谷津の谷底の標高は13～20mである。水は、谷頭部の標高19～20mの地点および台地の崖下から湧出する。

流量・水質の測定地点を選定するに当たって、まず主な湧泉（谷頭および崖下）の場所、谷底および水源涵養域の土地利用状況、流路、水路形態、排水口を把握し、それに基づいて測定地点を選定した。その結果を図に示したのが、図1である。

大草の流路を簡略化すると以下のようなになる。

<Ⅰ：北の枝谷津>

S 1 + S 2 → 荒地地 → C 1（土水路） → ↓

<Ⅱ：西の枝谷津>

↓

S 5 → C 3（土水路） → → → → → → → → → → C 4（U字溝） → → C 5（U字溝） → →

<Ⅲ：北の枝谷津・東側崖線>

↑

S 3 + S 4 → C 2（土水路） → → → → → → → ↑

<Ⅳ：東の枝谷津>

S 6 → 荒地地 → C 6（土水路） → → C 7（土水路） → → → → → → → → → → → → → → → →

※ S：湧泉測定地点 C：水路測定地点

図2 流路の概略と測定地点

測定地点は、湧泉6地点、水路7地点の合計13地点を選んだ。湧泉では、水源涵養域における土地利用・開発状況の影響を調査し、水路では、土水路とU字溝との水質・流量の比較検討をする。

3.測定項目

測定項目は、対象を一般市民としたため、誰でも簡単にできるものとして、次の項目をあげる。

- 1) 気温
- 2) 水温
- 3) 流量
- 4) 電気伝導度 ※1
- 5) pH ※2
- 6) 硝酸：NO₃（パックテスト） ※3
- 7) 化学的酸素要求量：COD（パックテスト） ※4

その他、基本事項として、測定者、当日の天候、最近の降水日、測定地点および時刻、測定地点付近の図、水の異変（においや色）や、湧泉であれば、湧出の形態（例：木の下の穴＝パイプから、5×5mの範囲全体でにじみ出すなど）や水源涵養域の土地利用、水路であれば、水路形態（例：土水路、U字溝など）や谷底の土地利用などをあわせて記す必要がある（調査表参照）。

※ 1：電気伝導度とは、水の中に溶け込んでいる不純物（無機イオン）の総量をあらわし、不純物が多くなると電気が通りやすくなって値が上がる。汚染の指標などに用いられる（温泉・火山帯・河口部を除く）。単位は、μS/cm（マイクロ・ジーメンズ・パー・センチメートル）を一般的に用いる。

※ 2：pH（ペーハー）とは、水の酸性・中性・アルカリ性をあらわす指標。通常の河川・地下水はpH6～8である。

※ 3：硝酸とは、化学肥料や尿尿、生活排水に含まれている窒素が酸化されて水に溶け込んでいるものである（硝酸イオンNO₃-の状態で存在）。人為的な汚染の指標となる。これが大量に含まれている水を飲み続けると人体に害を及ぼすため、水道法で亜硝酸とあわせて10mg/L（イオンの状態で約45mg/L）以下と定められている。

※ 4：CODは、水中の酸化されやすい物質（主に有機物）の酸化により消費される酸素

の量をあらわす。家庭排水などによってもたらされた水中の有機物量の指標となる。

4. 測定方法

1) 気温

普通の棒状温度計や簡単なサーミスタ温度計で、風通しの良い日陰で測る。高さは、約 1.5 m の地点で、日陰がない場合は板などで日陰をつくる。正確に、気温および湿度をはかる場合は、アスマン通風乾湿計 (約 10 万円) を用いて測るのが原則である。

2) 水温

バケツやピーカーなどで採水をおこない、直ちに棒状温度計を浸して、安定を待ち、水の中に入れた状態で値を読む。後に述べる電気伝導度計や pH メータには水温センサーが付いている場合が多いので、それを用いてもよい。

3) 流量

流量の測定方法は、測定地点の状況や水量によって異なってくる。また、継続的に計測し、信頼性の高いデータを求めるならば、大がかりな機材が必要となる。

① 水量が多い場合

a) 堰を設置する

毎秒 30~40L/s 程度までの水路や小河川ならば、図 3 のような堰を作って流量を測る。この方法は、水位をデータロガーを用いて記録することにより長期間の連続観測をおこなうことにも向いている。

堰はアクリル板や塩化ビニル板などで作成する。JIS 規格があるので、これを参考にする。設置場所は水路の両端をせき止める形で設置するか、または、図 4 のような箱状の堰を作成して、水路の段差を利用して水を受ける (箱は

水平にしなければならない)。

設置が完了したら、観測をおこなう。水量は堰を流れる水の水面高 (h) から次の式をつかって求めることができる。

$$\text{流量 } Q \text{ (m}^3/\text{min)} = Kh^{3/2}$$

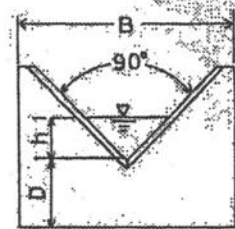
$$K = 81.2 + 0.24/h + (8.4 + 12/\sqrt{D})(h/B - 0.09)^2$$

大草では、S2 の下流・C1・C2・C3・C7 の地点で設置を検討する。水量が少なく、水面高が期待できない場合は、あとで述べるバケツや手カップを使う方法を用いる。

b) ウキを流す

基本的に水量は、水路の断面積 (幅×水深) ×流速から求めることができる。断面積は U 字溝であれば簡単に出来るが、土水路では直線区間を安定的に流れて

直角三角堰



D は 10cm 以上のこと。

図 3 直角三角堰 (JIS 規格)

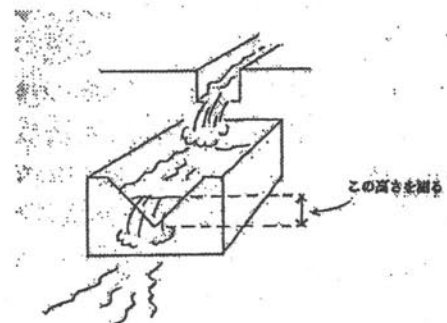


図 4 箱状の自作堰

いる（よどみや乱流がない）場所を選ばなければならない。

流速は、普通の河川では流速計を用いる。プライス式流速計（プロペラの回転速度から求める：約 20 万円）が最も安価で一般的であるが、最低 10cm の水深と、3m/s 以上の流速が必要である。従って、流量が少ない水路では向かない。ここでは、ウキを使って流速を測る方法をのべる。

ウキは釣り用のものでもよいし、フィルムケースに少量の水を入れるなどして自作してもよい。2～5m の測定区間を設定し、下流側にもウキの到達を確認する人を配置する。ウキを流し、ストップウォッチなどで所要時間を計る。誤差があるため、最低 3 回は同じことをおこない、平均値をとる。測定距離÷所要時間で流速を求めることができる。

大草では、U 字溝区間である C4・C5 でこの方法を用いるのが妥当である。

② 最大流量が 1～2L/s 程度の場合

・バケツや目盛り付きカップを使う

水路に適当な落差や堰があって水流を 1 つに集めることができれば、1 人でも簡単におこなうことができる方法である。図 5 のように水をせき止めて、樋をつける方法で自作することもできる。

容積がわからないバケツ（ビニル袋でもよい）を使うのであれば、一定時間（例えば 10 秒間）水を受け、バケツにたまった水の量を目盛り付きピーカーやメスシリンダーではかる。また、あらかじめ容量のわかっている目盛り付きのカップ（1L）があるならば、それが一杯になるまでの所要時間を計る。

大草では、S2 の下流・C1・C2・C3・C7 の地点で図 5 のような堰を設置して測定可能であるが、データロガーを用いた連続観測はできない。

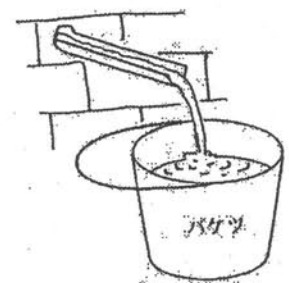


図 5 水をせき止めて樋を設置

③ 測定が難しい場合

湧出地点が、湿地になっていたり、露頭の広範囲からじわじわわき出ている場合などは、流量そのものを測定することが難しい。その場合は定性的な評価ではないが、目測で「多い」「中」「少ない」などと判断するしかない。したがって、これは 1 人ですべておこなわなければならない。自分自身で、「多い」場合は、1 分間に何リットルといった判断基準を身につけておく必要がある。ちなみに、水道の蛇口は全開で毎分 20L 程度である。

大草では、S3・S4・S6 がこれにあたる。

4) 電気伝導度

電気伝導度は、専用の電気伝導度計で測る。価格は約 3 万円の簡易計から精度の高いもので約 10 万円ほどである。1 つの本体に電気伝導度のセンサと pH のセンサとの 2 つをつけられるものもある（図 6）。

採水をおこなわなくても直接、水につけて測ることができる。しばらくして安定をした

ら、値を読む。

なお、電気伝導度は、水温によって変化をするため、温度補正をしなければならない。通常は25℃で換算をする。最近の機械は自動的に補正をおこなってくれることが多いが、取扱説明書に留意すること。

5) pH

pHの測定で最も安価で簡便な方法は、pH試験紙を用いる方法である。価格は50枚1000円ほどである。通常、1～0.5程度の精度しかないが、最近では、試験紙そのものの測定範囲を1.5程度にして、0.2程度に精度を上げているものもある。しかし、測定範囲が限られている分、事前に測定地点のpHの目安をつけておく必要がある。

比色管を用いる方法は、一般的ではあるが、薬品や試験管を多く必要とするため、持ち歩きにはあまり適さない。しかし、比較的精度よく、測定することができる。

電気伝導度と同様に、専用のpHメータを用いる測定もある。価格は、約2万円の簡易計から精度の高いもので約10万円ほどである。値段は張るが、携帯性にはすぐれ、個人差が生じない。精度を維持するためには、こまめに標準溶液で校正しておく必要がある。

上記の内どの方法を用いるかは、求める精度と測定地点数、測定頻度による。

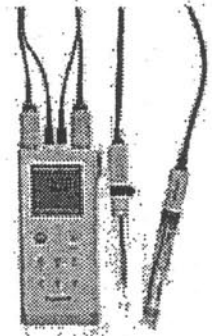


図6 電気伝導度・pHメータ
(堀場製作所)

6) 硝酸：NO₃

硝酸などの水質項目を測定する最も簡便な方法に、パックテスト（共立理化学研究所）がある（図7）。価格は、10本1400円ほどである。試薬の入った専用の容器に水を直接注入（泥が入らないように注意）し、数回ふって、しばらく置いておく。3分後に検出された色と付属の比色用紙の色とを比較し、値をきめる。

硝酸イオンの場合、比色の目安となる色は、1/2/5/10/20/45mg/Lについている。したがって、10mg/Lを越えると精度は落ちていく。比色するさいは、両方の値の色をみて、中間にあると判断された場合、値は両者の中間値とする。

評価の目安として、5mg/Lを越えた場合、化学肥料などで汚染されていると考えた方がよい。45mg/Lに達すると、水道法の基準値を超える。

注意点として、事前に亜硝酸の測定をおこなっておく必要がある。しかし湧水や上流部の水路の場合、通常、亜硝酸は直ちに硝酸に酸化され、亜硝酸は検出されない場合が多い。大草においても、亜硝酸は検出されなかった。

精度よく測定をおこないたい場合は、硝酸専用の携帯用の測定器械がある（価格：約4万円）。

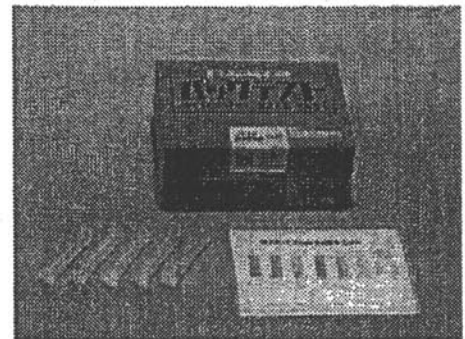


図7 パックテスト
(共立理化学研究所)

7) 化学的酸素要求量：COD

CODについても、硝酸と同様にパックテストが販売されているため、それを用いるのが、最も簡便な方法である。

試薬の入った専用の容器に水を直接注入（泥が入らないように注意）し、数回ふって、しばらく置いておく。20℃の水の場合は、5分後に検出された色で比色する（温度が低い場合は、もう少し長くおいておく）。COD（低濃度用）の場合、比色の目安となる色は、0/2/4/6/8mg/Lについている。比色するさいは、両方の値の色をみて、中間にあると判断された場合、値は両者の中間値とする。

評価の目安として、4mg/Lを越えた場合は、家庭排水などにより汚染されていると考えた方がよい。

注意点として、CODの場合は、流下する過程で、空気により酸化分解され減少していく。従って、排水による直接の影響をみたい場合は、なるべく排水口に近い地点で測定をおこなった方がよい。

5.測定時期・間隔

測定時期や間隔は、調べたい内容にあわせて設定する。1回の降雨による流量・水質の変化をみたい場合（短期流出）と、季節変化などをみたい場合（長期流出）とにわけて考える必要がある。

1) 1回の降雨による変化をみる

天気予報や当日の天候をみて、雨が降る前から流量・水質観測を行う。約1時間に1回の観測を目安とする。

雨が降り始めたら、直ちに観測をおこなう。涵養域が開発されている場合は、保水力が弱いため、ただちに流量が増加する可能性がある。従って、降雨中の流量は15～30分おきという密な観測をおこなう。これは流量の最大のピークが降り始めてからどれくらい後に出るかをみるためである。水質項目については、雨により希釈されて変化するが、すべての項目を密に調べるのは困難なので、1時間に1回でよい。

雨がやんでも、その後1時間～2時間は、15～30分おきに観測を続ける。徐々に流量が減少していること把握したら、1時間に1回の観測に戻す。

観測後、データをもとに時間をx軸にして折れ線グラフを作成する（ハイドログラフ）。降水量の曲線と流量の曲線がどのような関係になるか、さらに水質との関係についても考察してみる。

なお、この観測の場合は、雨量計も設置しておく必要がある。雨量計は自作のもでもよい。

※ データロガーの使用について

流量をはじめ、気温、水温、降水量の連続観測には、自記記録計であるデータロガーを使うのが便利である。

（後日配布予定）

2) 1年間の季節変化をみる

肥料による汚染が考えられる場合、その施肥の時期によって、水質も変化する可能性

がある。従って、1年間を通して、月1回ずつ観測することが望ましい。雨による影響を除去するために、降雨後、3～4日以降におこなう。

1年間の観測結果をもとに、時間をx軸にして折れ線グラフを作成する。各項目に複数月を通じて増加または減少傾向が認められるか、また水量と各水質項目に関係性が認められるかを考察する。

6. 調査器材（例）

1) 測定器材

温度計（50℃までのもの）

水温計（温度計でも代用できる）

電気伝導度計

pHメータ（または、試験紙）

硝酸パックテスト（必要に応じて亜硝酸パックテスト）

CODパックテスト

ウキ

ストップウォッチ（秒針付きの腕時計でも代用できる）

コンベックス（3～5m）

取っ手・目盛り付きカップ

2) 測定補助品

蒸留水（電気伝導度やpHメータのセンサーを洗う）

pH校正液（通常、pH4，6，9の3点校正）

キムワイブ（香料などの添加のないティッシュでもよい）

替え電池

ビニール袋（水量調査にも使える）

ポリ瓶 100～200mL（実験室で測定しなければならないときに持ち帰る）

3) 必需品

フィールドノート（記録用紙）

クリップボード

地図（1：2500～1：5000）

コンパス

カメラ（フィルムも）

ビニールテープ

ペン・マジック・（色鉛筆）

園芸用移植ごて（採水しやすいように掘る）

カマ（ヨシやササなどをかき分ける）

長靴

タオル・帽子

水筒

救急用具

7.大草の事前調査

2002年1月24日および2月1日に、大草で現地把握および測定地点を決定するための事前調査をおこなった。

- 1) 1月24日は、主な湧泉（谷頭および崖下）の場所、谷底および水源涵養域の土地利用状況、流路、水路形態、排水口を把握し1つの地図にまとめた（図1）。
- 2) 地図をもとに、測定地点の候補をあげ、2月1日に実際に水量・水質測定をおこなった（表1）。CODについては測定を省いた。

結果

- 1) 湧水の流量は、北の谷津にあるS1およびS2が非常に多く、S5がこれに続いた。S6の湧水は湿地状になっていて量も少なく測定できなかった。これは、涵養域の大きさと開発状況を反映していると考えられる。
- 2) 硝酸イオンは、S1・S2・S3で非常に値が高く、S6でもやや高かった。いずれも上流の涵養域に畑地があることから、化学肥料による汚染と考えられる。
- 3) 流下する過程で、S2→荒地→C1、S6→荒地→C6では、硝酸イオンが低下して0になり、ヨシ原による浄化が確認された。また電気伝導度も低下した。
- 4) U字溝区間のC4→C5では、硝酸イオンの低下はみられなかった。また、pHが増加した。

結論

以上の結果、湧泉6地点、水路7地点を測定することにより、人為的なインパクトを捕らえることができることがわかった。今後、継続的に計測をおこなうことで、よりそれが明確になると考えられる。

8.市民による調査のために参考となる文献

新井正（1994）：『水環境調査の基礎』。古今書院，168p.

小倉紀雄（1987）：『ブルーボックス B-696 調べる・身近な水』。講談社，161p.

高橋一・末永和幸（1992）：『地学ハンドブックシリーズ6 湧泉調査の手びき』。地学団体研究会，116p.