

Title	酸性雨と大気汚染調査：生物学実習プログラムへの導入
Sub Title	Survey of acid precipitation and pollution of the atmosphere-Development of a New Program in Biology Class-
Author	宮本, 康司(Miyamoto, Koji) 萱嶋, 泰成(Kayashima, Yasunari) 秋山, 豊子(Akiyama, Toyoko)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2007
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of natural science). No.41 (2007. 3) ,p.15- 26
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20070331-0015">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20070331-0015</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

## 酸性雨と大気汚染調査

—生物学実習プログラムへの導入—

宮本康司・萱嶋泰成・秋山豊子

Survey of acid precipitation and pollution of the atmosphere  
—Development of a New Program in Biology Class—

Koji MIYAMOTO, Yasunari KAYASHIMA and Toyoko AKIYAMA

### はじめに

慶應義塾大学では、50年以上の長きに渡り、文系学部の学生を対象に実験を伴った生物学の授業を行っている。この授業では、生物学の幅広い話題に学生を触れさせ、理解を深め関心を引き出すことを目的とし、生物学の様々な分野にわたり隔週で講義と実習を行っている。これまでは、人間を含む生き物を取りまく環境やその汚染の問題を講義の中でとりあげることがあったが、実習のほうへは環境問題を取り込むことができず、近年の情勢を踏まえての環境問題 [1-6] をより実感する実習授業の更なる充実に迫られていた。そこで、「平成18年度部門内調整費、新しい実習プログラムの開発Ⅲ」の中で環境汚染をテーマに、生物学実習プログラムの開発を行った。

近年、人口増加や文明発達による地球温暖化 [2-4] や森林破壊 [1, 5-6] など、さまざまな環境破壊が問題となっている。一般社会人の常識として環境汚染の原因や対策について理解をしておくことはもちろんのこと、社会人となってからは、むしろ文系出身の方が環境に対する理解や配慮のもとに、それらを実現する法整備や行政のシステム作り、環境に配慮した製品の企画開発などに関与する可能性がある。本プログラムでは、環境問題の中でも学生にとって身近な酸性雨と大気汚染をテーマとして取り上げ、生物学実習プログラムの開発を行った。学生自身が自分自身の活動範囲やキャンパス周辺を検索場所として、数種の測定を行い、その

測定した結果を組み合わせ、大気汚染の原因や大気汚染が酸性雨の原因となることを実感できるように考慮した。

### 【準備段階】

実習内容は、180分の授業時間におさめるべく検討し、大気汚染と酸性雨に関して理解を深めることができるよう、雨の酸性度測定に加え地面に落ちた後の雨の酸性度、および大気中のNO<sub>2</sub>濃度の測定を行うこととした〔7〕。

雨の酸性度測定に関しては、実習当日までに学生自身に測定してきてもらうため、実習前にあらかじめ酸性雨測定セット（図1）を配布すると同時に、測定方法や注意点を指示することとした。雨を採取するために適当な期間を2週間と考え、セットの配布は実習の2週間前とした。結果は班ごとに白地図へ記載することとしたが、8班分すべてを1枚のOHPシートへコピーすると見づらくなるため、4班分の結果を1枚のOHPシートにコピーし、解説ではOHP2枚を重ねて投影することとした。

屋外のコンクリート上や水槽などの溜まり水は、雨と比較して酸性度が低くなることが予測でき、溜まり水の酸性度を測定させることにより、酸性雨のもたらすダメージや中和される過程を学ぶことができると考えた。

スタッフによるNO<sub>2</sub>濃度測定ドジチューブ（GASTEC社）（図2）を用いた予備実験の結果、測定結果を読み取るには長時間測定を行った方がよいことがわかったため、20～23時間の設置時間をとるために、スタッフが実習の前日にあらかじめドジチューブを3地点に設置することとした。また、ドジチューブを回収してくるだけでは実感がわきにくいこと、直接視覚に訴えることができること、などから、ドジチューブを設置した3地点で採取した大気にザルツマン試薬（中村理科工業株式会社）を加えて発色をみる測定方法も併せて採用した。ザルツマン試薬を用いたスタッフによる予備実験では、日吉駅前において大気中のNO<sub>2</sub>が自動車の排ガスによって非常に明確に発色することを確認した。

本プログラムでは4種の測定結果を複合的に解釈させる必要があるため、班ごとの作業のうち講義形式により解説を行うこととし、レポート課題は、ステップをおって考えやすいように、課題が論理的に順序良く並ぶように工夫した（資料1）。

### 【実習プログラム内容】

実習日の2週間前に、測定チューブ5本・標準色表・取り扱い説明書（KYORITSU CHEMICAL-CHECH Lab社）・直径60mmプラスチックシャーレ・記録用紙（B6判）のセットを配布し、学生は各自で2週間の間に雨を採取しその酸性度を測定する。酸性度・場所・日時・降り始めかどうか・住宅地か道路沿いか、等を記録し、実習当日に、結果を班ごとに狭域と広域の2種（資料2）の白地図上へ記号を用いて記載し、スタッフがまとめてOHPシート上へコピーする。

実習当日には、日吉キャンパス内3地点（日吉駅前、並木道、矢上入口：図3）にてNO<sub>2</sub>濃

度測定を行う。前日に設置しておいたドジチューブを回収し、実験室で目盛りを読み取り記録する。また、3地点で大気をビニル袋に採取して実習室に持ち帰り、ザルツマン試薬30mlを加えてよく振り発色の程度を比較・記録する。また、pHメーター (B-212, HORIBA) を用いて溜まり水の酸性度を測定する。各測定結果を班ごとに黒板に表記する。

講義形式により、クラス全体のNO<sub>2</sub>濃度測定結果、溜まり水の酸性度測定結果、OHPによるクラス全体での酸性雨の分布結果についてそれぞれ解説し、総括を行う。

### 【実習の実際】

#### ＜実習＞

実習日の2週間前に酸性雨調査セットを配布するにあたっては、雨の採取の仕方・測定チューブの使い方などを説明し、降り始めの雨を採取すること・採取後すみやかに酸性度を測定すること・必ず記録を行うこと、などの注意を喚起した。

学生は実習当日までの2週間の間に、ひとり当たり平均2.73地点で雨を採取し、その酸性度を測定してきた。駅前・幹線道路沿い・日吉キャンパス内など、出先での採水は35.3% (180地点) であり、居住地での採水64.7%と比較すると約半分であったものの、学生は積極的に酸性雨調査に取り組んだといえる。

当日の実習は、2006年7月4日 (1クラス)・5日 (2クラス) の、計3クラス (187人) で実施した。まず、導入として講義形式により環境問題について解説したのち、学生は班ごとにNO<sub>2</sub>濃度測定と溜まり水酸性度測定、およびデータをまとめる作業を行い、最後に再び講義形式によりクラス全体の測定結果について解説、総括を行った。

導入では、グローバルな環境問題と身近な環境問題・大気汚染について講義を行ったのち、当日の流れについて指示した。

班ごとの作業では、8班ある各班 (1班をほぼ8名) 内で、ドジチューブ回収と大気の採集のため3地点へ2名ずつ・溜まり水の採集のため2名の分担決めを行い、手分けしてNO<sub>2</sub>濃度と溜まり水の酸性度を測定した。また、各自が測定してきた雨の酸性度の分布を白地図上へ記号を用いて記載した。

ザルツマン試薬を用いた測定では、3地点 (日吉駅前、並木道、矢上入口：図3) にて大気をビニル袋に採取し、実習室に持ち帰り、それぞれにザルツマン試薬30mlを加えてよく振り、発色の程度を記録した。班ごとに協力して試薬を添加する様子や、3地点での比較を行う様子が見られ (図4)、学生は矢上入口よりも日吉駅前のほうが濃く発色する様子を観察できた。また、スタッフが直接採取した自動車の排気ガスにザルツマン試薬を加えた結果生じた濃い発色を、各班に示した (図5)。

ドジチューブの目盛りの読み取りでは、読み取りにくくスタッフに助言を求める班もあったが、おおむねNO<sub>2</sub>濃度を算出することができた。

溜まり水の酸性度測定では、班員全員で相談して採取地を吟味する班や、数地点から採取し

て比較を行う班などがみられた。pHメーターは一台だけであったが、スムーズに測定を行うことができた。各班の代表は、それぞれの測定結果を黒板へ表記した。

ふたたび講義形式をとり、板書とOHPを用いて、クラス全体でのNO<sub>2</sub>濃度測定の結果と溜まり水の酸性度の結果、および酸性雨の分布結果について解説、総括を行った(図6)。NO<sub>2</sub>濃度は、平均すると日吉駅前から矢上入口にむかって濃度が低下し、雨天時には晴天時に比べて特に日吉駅前において濃度が低下すること(図7)、が示された。溜まり水では、雨天時には晴天時に比べて酸性度が高いこと(図8)が示された。酸性雨分布のクラス全体の集計では、おおむね都心部で酸性度が高く内陸部では低いこと、幹線道路沿いでは酸性度が高いこと、などを解説した。

総括として、(1) NO<sub>2</sub>濃度は、日吉駅前で高かったこととザルツマン試薬による排気ガスの濃い発色から、その発生源は主に自動車の排気ガスであること、(2) 雨天時には日吉前でNO<sub>2</sub>濃度が低下し溜まり水の酸性度も高くなったことからNO<sub>2</sub>が雲や雨と反応して酸性雨の一因となっていること、(3) 溜まり水は雨よりも酸性度が低かったことから、コンクリートや生物は酸性雨を中和していること、(4) NO<sub>2</sub>だけではなく工場や火力発電所から排出されるSO<sub>x</sub>も酸性雨の原因となっていること、などを解説した。

### 【学生レポート】

レポートには、雨の酸性度測定の記録用紙も併せて提出させた。測定場所を居住地、駅前、幹線道路、日吉キャンパスにわけたところ、ばらつきは大きいものの居住地がもっとも酸性度が高かった(表1)。これは、同じ居住地でも都心部と郊外とでは酸性度の差が大きいこと、自宅なので降り始めの雨を採取できたこと、などが原因と考えられる。駅前と幹線道路では平均値もばらつきも似た傾向を示した(表1)。これは、駅前は待機タクシーやバスなどが多く、NO<sub>2</sub>濃度などの程度が幹線道路と近いと考えると考えられる。雨の酸性度は日吉キャンパスでもっとも低かった(表1)。日吉キャンパスはほかの測定場所とくらべればはるかに緑が多く、近くにNO<sub>2</sub>やSO<sub>x</sub>の排出源が少ないためと考えられる。

課題に関しては、NO<sub>2</sub>の発生源は自動車であると理解できた学生の割合が98.4%、NO<sub>2</sub>が酸性雨の一因であることを理解できた学生の割合が95.2%と、非常に高い理解を示した。一方、NO<sub>2</sub>や酸性雨の動態に関する総合的な図示ができていたものは63.6%、NO<sub>2</sub>以外の酸性雨の原因であるSO<sub>x</sub>に言及してあるものは40.6%にとどまった(図9)。また、「動態の総合的な図示」を、「日吉駅前」から「矢上入口」にかけての拡散図示とした学生が数名みられた。

### 【問題点】

レポートでは、NO<sub>2</sub>と酸性雨の動態の総合的な図示と、SO<sub>x</sub>に関する記載に関して、理解度が非常に高いとはいえなかった。溜まり水の酸性度は雨よりも低く、酸性雨が地表で中和されていることは、学生に実感させることができたが、そのことがすなわちコンクリートや生物にとってはダメージであることを総括で強調する必要があった。また、酸性雨の分布の解説では、

交通量が多いところだけが酸性度が高いわけではなかったことに注目させ、NO<sub>2</sub>は風などにより移動しうること、NO<sub>2</sub>以外にも酸性雨の原因物質「SO<sub>x</sub>」が存在すること、などを強調する必要があった。

本実習においては、初日は数日続いた晴天、2日目は雨天であり、2日目のクラス、特に最後のクラスには、初日のデータと比較することにより詳しい解説を行うことができた。しかし初日の学生には雨天時のデータをしめすことができず、幅のある解説を行うことができなかった。今回の実習で晴天時と雨天時双方のデータを蓄積することができたので、今後この実習を行う際には、初日のクラスにもデータを示して解説することが可能となった。

ドジチューブは、濃度として数値を読み取れることは利点であった。しかしその発色はごく薄く読み取りが困難であったことと、20時間程度設置しておかなくてはならないため学生が設置場所を選択できないことは難点であり、今後の課題として改善を要する点である。

## まとめ

雨の酸性度測定・2種のNO<sub>2</sub>濃度測定・溜まり水の酸性度測定を組み合わせで行った本プログラムは、学生が実際に各種の測定を行ったことと総合的な解説を行ったことにより、身近な環境問題に対して学生の理解と関心を深めることができたと考えられる。

また、本プログラムで用いた市販キットには、(1) 追試が容易であること、(2) 複数キャンパスでの比較が加能であること、(3) 小、中、高、大学と、学生の各発達段階に応じて立体的な理解が可能であること、(4) 継続して実施することでデータが蓄積されるため、今後は時間的な変動についても考察が可能であること、などの利点をみいだすことができた。

## 謝辞

本プログラムは、予算部門内調整費『新しい実習プログラムの開発Ⅲ 生物学教室「環境」』と、平成18年度慶應義塾大学学事振興資金共同研究「一貫校からの理科教育を考える——理科離れ防止と文系学生のための自然科学教育——(代表；秋山豊子)の支援によって行われた。実習の準備と実施にあたっては、TAの理工学部大学院生の長田年弘君、高本奈緒君、横井香里君、野殿英恵君の協力を得た。ここに著者一同より、心からの謝意を表するものである。

## 参考文献

- 1 「酸性雨」 石 弘之 (1989) 岩波新書
- 2 「地球環境と人間」 人類とエネルギー研究会編 (1989) (財) 省エネルギーセンター
- 3 「地球環境問題とは何か」 米本昌平 (1994) 岩波新書

- 4 「地球環境報告」石 弘之 (1989) 岩波新書
- 5 「人間にとって森林とは何か」菅原 聡 (1989) 講談社ブルーバックス
- 6 「森林破壊と地球環境」大石真人 (1995) 丸善ライブラリー
- 7 「誰にでもできる環境調査マニュアル」左巻建男, 市川智史 編 (1999) 東京書籍

## 添付資料

### 1 白地図 (班でのまとめ用)



## 2 配布した実習プリント (一部改変)

### 酸性雨調査と大気汚染調査

#### はじめに

近年さまざまな環境破壊が世界的に問題となっている。環境問題の中でも、特に酸性雨や大気汚染は大気を通して拡散しることから、国境を越えた問題となっている。また、大気汚染による被害では、被害者は同時に加害者となりうることも認識する必要がある。日本における酸性雨や大気汚染の現状を学び、これらを防ぐためにできることを考える。

**酸性雨:** pH値が5.6以下の酸性の雨。湖沼が酸性化し生物に悪影響を及ぼしたり、森林や建造物に被害を与えたりする。

**大気汚染:** 大気中のSOx・NOx・CO・粉塵・光化学オキシダントなどの濃度が上昇し、動物や人体に悪影響を及ぼす。

#### 目的

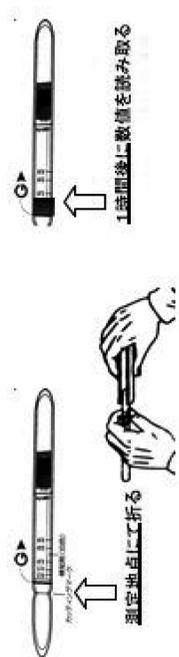
自ら調査して日本における酸性雨や大気汚染などの環境破壊の現状を体感し、それらがおこる仕組みを学ぶ。環境破壊に対し個人ができることを考える。

#### 配布物

NO<sub>2</sub>測定用ガラスチューブ、チューブホルダー (GASTEC社)、速沈管、NO<sub>2</sub>検出用ザルツマン試薬(中村理科工業社)、ビニル袋、酸性度測定チューブ、標準色表 (KYORITSU CHEMICAL-CHECK Lab社)、シャーシ、記録用紙

#### 方法

1. 実習日までに5回、酸性度測定キットを用い、各自・各所にて雨の酸性度測定をおこなう。測定には降り始めの雨を用い、すぐに標準色表を参照してpH値を求める。  
地点(住宅地か道路か、なども)・pH値・日時を必ず記録しておく。(\*)
2. 班内で分担して、NO<sub>2</sub>濃度測定と溜まり水の酸性度測定をおこなう。  
①大気中の NO<sub>2</sub>濃度を、比較したい地点(例えば、A: 日吉駅前、B: 並木道、C: 林の中)において分担して測定する。速沈管にマジックで測定中・〇〇(班名など)などと記入しておき、測定場所においてチューブの先端を折り取り、速沈管に納めて設置し、測定を開始する。測定を開始した時刻を記録する。(\*)



**注意**  
測定用ガラスチューブの先端を折り取る際、ガラスの破片や折り口に注意し、持ち運ぶ際には速沈管に入れて運ぶこと

#### ② 屋外の水槽や、雨上がりがあれば地面の水溜りの水の酸性度を測定する。測定の際は、水が何と接していたか(葉・メダカ・アスファルト・泥、など)を必ず記録する。

3. 各自が測定してきた雨の酸性度の結果を班ごとに集計する。  
雨の酸性度を、それぞれpH 3.9以下をX、pH 3.9 ~ 4.3 を▲、pH 4.3 ~ 4.7 を■、pH 4.7 ~ 5.1 を●、pH 5.1 ~ 5.5 を○、pH 5.5 ~ 5.9 を○、pH 5.9以上を△、としない場合は地図上へ自分の地図上へ記号を用いてプロットする。地図上の範囲に収まらない場合には地図ごとへプロットする。完成し次第、各班1部を提出する。
4. ビニル袋を持って、設置しておいたNO<sub>2</sub>測定用のチューブを1時間後に回収しに行き、目盛りを読み取って値を記録する。その地点の大気中のNO<sub>2</sub>濃度を記録する。
5. 実験室において、3地点から持ち帰ってきた空気にそれぞれザルツマン試薬30mlを加えよく振り、試薬の色の濃度を比較、記録する。
6. NO<sub>2</sub>濃度の測定結果と溜まり水の酸性度の測定結果を、ホワイトボードに記入する。ホワイトボード前部へ移動。
7. 雨の酸性度の分布・NO<sub>2</sub>測定結果・溜まり水の酸性度の、クラス全体の結果を集計した総括を頼いた後、各自レポートを作成する。

(\*) 雨の酸性度測定・NO<sub>2</sub>測定の詳細な方法に関しては、取り扱い説明書を参照すること

#### 課題

1. NO<sub>2</sub>濃度の測定結果を、地点ごとに表記しなさい。
2. NO<sub>2</sub>濃度に、測定地点による濃度の違いはあるか否か調べ、違いがあるとなれば、その原因は何か考察しなさい。また、発生源は何であると考えられるか考察しなさい。
3. 雨の酸性度の測定結果を地図上に示した結果から、地域による酸性度の違いはあるか否か調べ、違いがあるとすれば、その原因は何か考察しなさい。
4. 雨と溜まり水との酸性度に違いはあるか調べ、違いがあるとすればその原因は何か、溜まり水が接していたものを挙げて考察しなさい。
5. 雨の酸性度の分布とNO<sub>2</sub>濃度の分布から、酸性雨とNO<sub>2</sub>との関係を考察しなさい。また、それらの発生源・移動経路・生態系への影響・分解経路などの、環境中における動態を総合的に図示しなさい。
6. 酸性雨を防ぐためにはどうすべきか、ひとりひとりができることは何か、考察しなさい。

図表



図1 酸性雨測定セットの写真



図2 ドジチューブ。A:ケース (10本入り), B:未使用の状態, C:使用時。先端を折り取って放置すると内部に青いバンドが生じ、そのバンドがどこまで出来ているか目盛りを読み取ることで濃度を測定する。

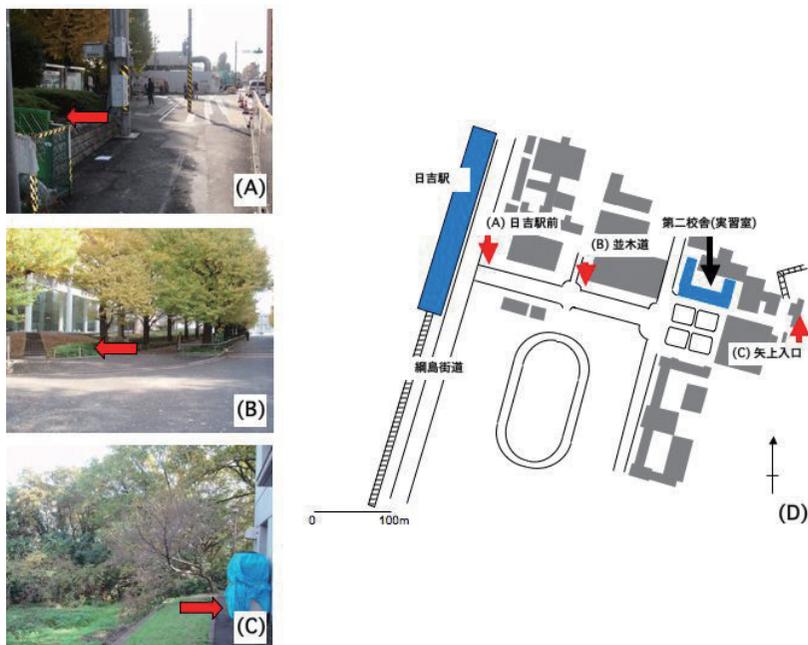


図3 日吉キャンパス内3カ所の測定地点。(A), (B), (C), (D)内の赤矢印で示した場所にドジチューブを設置した。(A): 日吉駅前, (B): 並木道, (C): 矢上入口, (D): 日吉キャンパス内における3カ所の測定場所の位置関係。地図は上空からの航空写真をトレースしたもの。



図4 実習風景（ザルツマン試薬の反応）とたまり水のpH測定



図5 測定場所の大気と自動車の排気ガスによるザルツマン試薬の発色の写真(右)



図6 まとめ段階の授業風景

表1 酸性雨の分布

	pH (mean ± SD)
居住地	4.96 ± 0.67
駅前	5.05 ± 0.59
幹線道路	5.02 ± 0.60
日吉キャンパス	5.17 ± 0.58

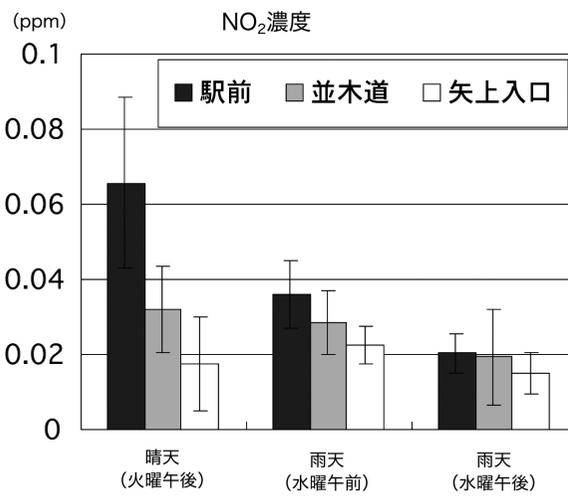


図7 ドジチューブによるNO<sub>2</sub>濃度の測定結果 (mean±SD, n=8)

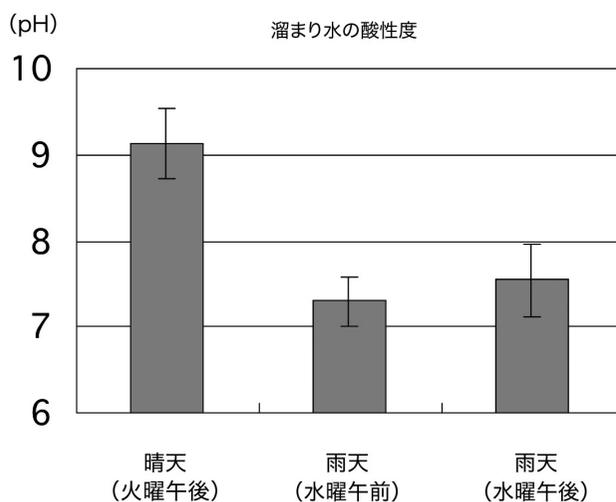


図8 溜まり水の酸性度 (mean±SD, n=8)

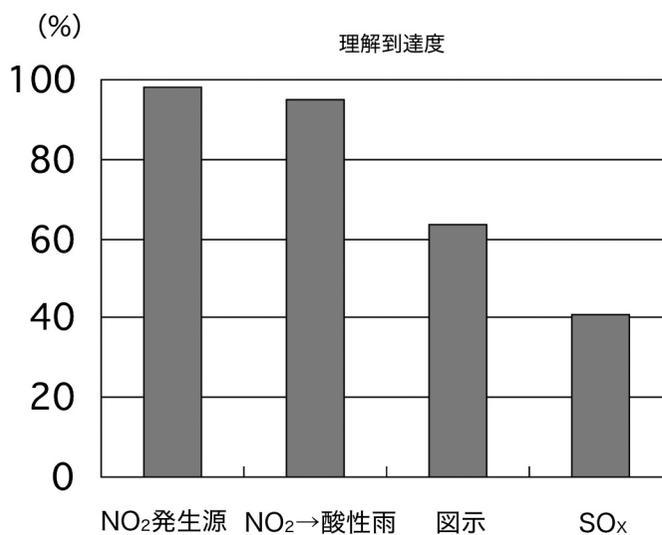


図9 理解到達度