

環境モニタリングにおける林外雨採取方法の比較検討

山崎 理正・北川新太郎・羽谷 啓造・安藤 信・川那辺三郎

はじめに

京都大学演習林では、環境モニタリング体制を確立する意味あいで1992年より雨水の採取及び測定を各地の地方演習林・試験地において行ってきた。基本的には市販の初期降雨分取型の雨水採取器を用いた一降雨毎の林外雨の採取を柱とし、その測定結果の一部は既に報告している^{1)~4)}。一方、並行して簡易雨水採取器を用いた一降雨毎の林外雨の採取、林内雨の採取、樹幹流の採取が行われているが、その方法は各地の採取場所の状況、観測体制の違いにより多岐にわたっている。

このような環境モニタリングを長期間続けていくためには省力化も重要な課題である。今回、林外雨の初期降雨の各地の特性はある程度これまでの採取・測定で捉えることができたと考え、林外雨の採取方法を初期降雨分取型から一降雨一括採取型へ変更するための、採取方法について検討することにした。検討したのは、今まで使用してきた市販の初期降雨分取型の雨水採取器と、同採取器を簡略化して一括採取型にしたものと、乾性降下物と湿性降下物を分取する大気降下物採取器で採取した試料についてである。本報告では京都大学の北部構内の本部試験地と和歌山県白浜町の白浜試験地において、各種採取器で採取された雨水のpH・導電率測定値の比較を行ったので、その結果を報告する。

測定にあたっては、多くの演習林の職員に協力して頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

材料及び方法

比較試験を行った本部試験地（京都府京都市左京区北白川追分町）は京都市市街地の北北東に位置する京都大学北部キャンパス内にある。また、白浜試験地（和歌山県西牟婁郡白浜町立ヶ谷）は田辺湾に面し、観測地と海岸の間には県道が通っている。

比較を行った3種の雨水採取器はそれぞれ図-1に示すとおりである。すなわち、今まで使用してきた初期降雨分取型のレインゴーランド（堀場製作所製、AR-8）、レインゴーランドの中身の分取カップなどを取り払って代わりに2リットルのポリタンクを設置したもの（以下、タンク型レインゴーランド）、大気降下物採取器（小笠原計器製、US-410）の3種である。レインゴー



図-1 各種雨水採取器の構造

ランドは、初期降雨7mmまでが1mm毎に7つのカップに分取され、8mm以降の雨は8つめのカップを経由して水受けに入るような仕組みになっている。本報告では8カップ目と水受けに採取された雨水の測定値は無視した。また、大気降下物採取器は、感雨器によって蓋の開閉が自動的に行われ、湿性降下物は内部のタンクに、乾性降下物は上部にそれぞれ分取されるものである。京都大学演習林では現在京都府北部の芦生演習林、京都府南部の本部試験地、山口県徳山市の徳山試験地の3カ所で大気降下物採取器による林外雨の採取を行っている。

まず、京都大学の北部構内の本部試験地において、1995年の3月より4月までレインゴーランドと大気降下物採取器の雨水採取比較試験を行った。レインゴーランドには、晴天時の乾性降下物の流入を防ぎ、雨の降り始めと同時に蓋が開く専用の自動蓋開け器（堀場製作所製、ひらけごま、以下蓋開け器）を取り付けた。採取は一降雨毎に行い、採取した雨水は速やかにpHと導電率をそれぞれpHメータと導電率計（堀場製作所製、ツインシリーズ）で測定した。測定は1試料についてレインゴーランドで採取した雨水はそれぞれのカップについて3回、大気降下物採取器で採取した雨水は5回連続して行い、測定値が安定した最後の値を採用した。両方の採取器で採取ができた合計13回の降雨について比較を行った。

次に、同じ本部試験地において、1995年の5月より8月までタンク型レインゴーランドと大気降下物採取器の雨水採取比較試験を行った。タンク型レインゴーランドは、蓋開け器を取り付けるものと取り付けないものの2種を用意した。採取及びpH・導電率の測定は3月より4月までの比較試験の場合と同様に行い、3種の採取器の全てで採取ができた合計16回の降雨を比較した。

本部試験地での比較試験と並行して、和歌山県白浜町の白浜試験地において、1995年の5月より8月までレインゴーランドとタンク型レインゴーランドの雨水採取比較試験を行った。レインゴーランドには蓋開け器を取り付けた。タンク型レインゴーランドは蓋開け器を取り付けるものと取り付けないものを用意し、レインゴーランドと2種のタンク型レインゴーランドを並べて試験地の事務所屋上に設置した。採取及びpH・導電率の測定は本部試験地の場合と同様に行い、3種の採取器の全てで採取ができた合計17回の降雨を比較した。

また、試験期間内の降水量は転倒ます型雨量計（池田計器製）で測定し、大気降下物採取器で採取した雨量は雨量ますで測定し、タンク型レインゴーランドで採取した雨量は採取後雨水が入ったポリタンクの重量からポリタンクのみ重量を差し引き、レインゴーランドの水受け部分の表面積で割ることで算出した。これら雨量計の違いによる採取雨量の違いを検討した。

統計解析はSAS[®])を使用して行った。尚、pHの測定データは水素イオン濃度に換算してから統計解析に供した。

結果及び考察

1. レインゴーランドと大気降下物採取器の雨水採取比較試験

1995年の3月から4月までに本部試験地で観測された13回の降雨について、レインゴーランドの1カップ目から7カップ目までに採取された雨水、すなわち初期降雨1mmから7mmまでの雨水のpH・導電率を、大気降下物採取器で採取された雨水のpH・導電率と比較した(図-2, 図-3)。レインゴーランドで採取された雨水のpHは、どのカップにおいても大気降下物採取器で一括採取された雨水と比べると低くなる傾向があった(図-2)。その傾向は特に1カップ目

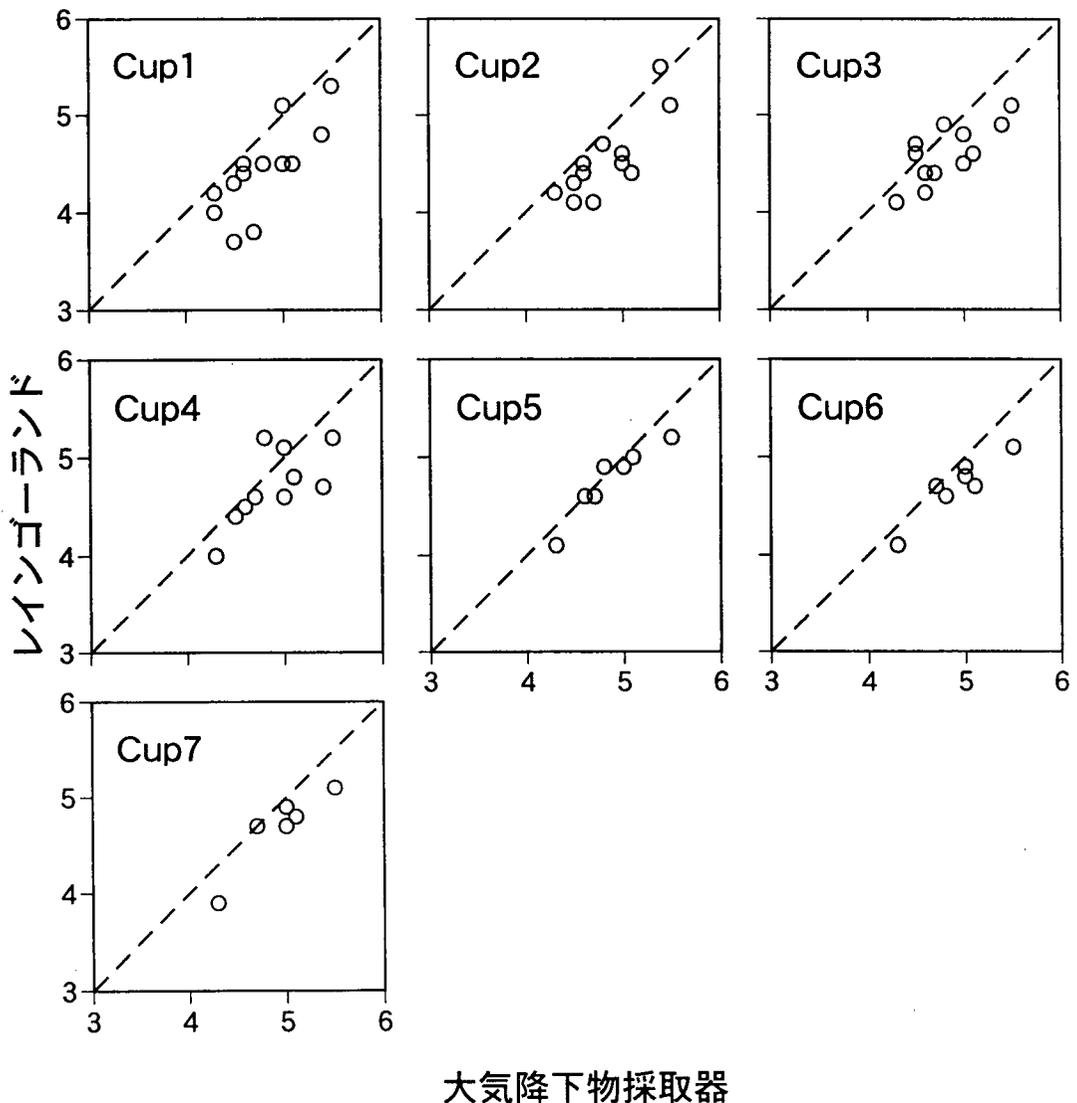


図-2 レインゴーランドと大気降下物採取器による採取雨水のpH測定値の違い

から3カップ目までで顕著であり、初期降雨のpHが低いという特性がよく現れている。金子ら⁴⁾は京都の3地点でレインゴーランドによる降雨の同時採取を行い、初期降雨3mmまでの雨水のpH・導電率の変化が特に激しいことを指摘しているが、今回の結果もそれを支持するものである。また、導電率についてはレインゴーランドの1カップ目の値が大気降水採取器の値と比べると高く、2カップ目から7カップ目の値は大気降水採取器の値とあまり顕著な差はなかった(図-3)。1カップ目は特に溶存イオン濃度が高く、汚染度が高い雨水であったと思われる。

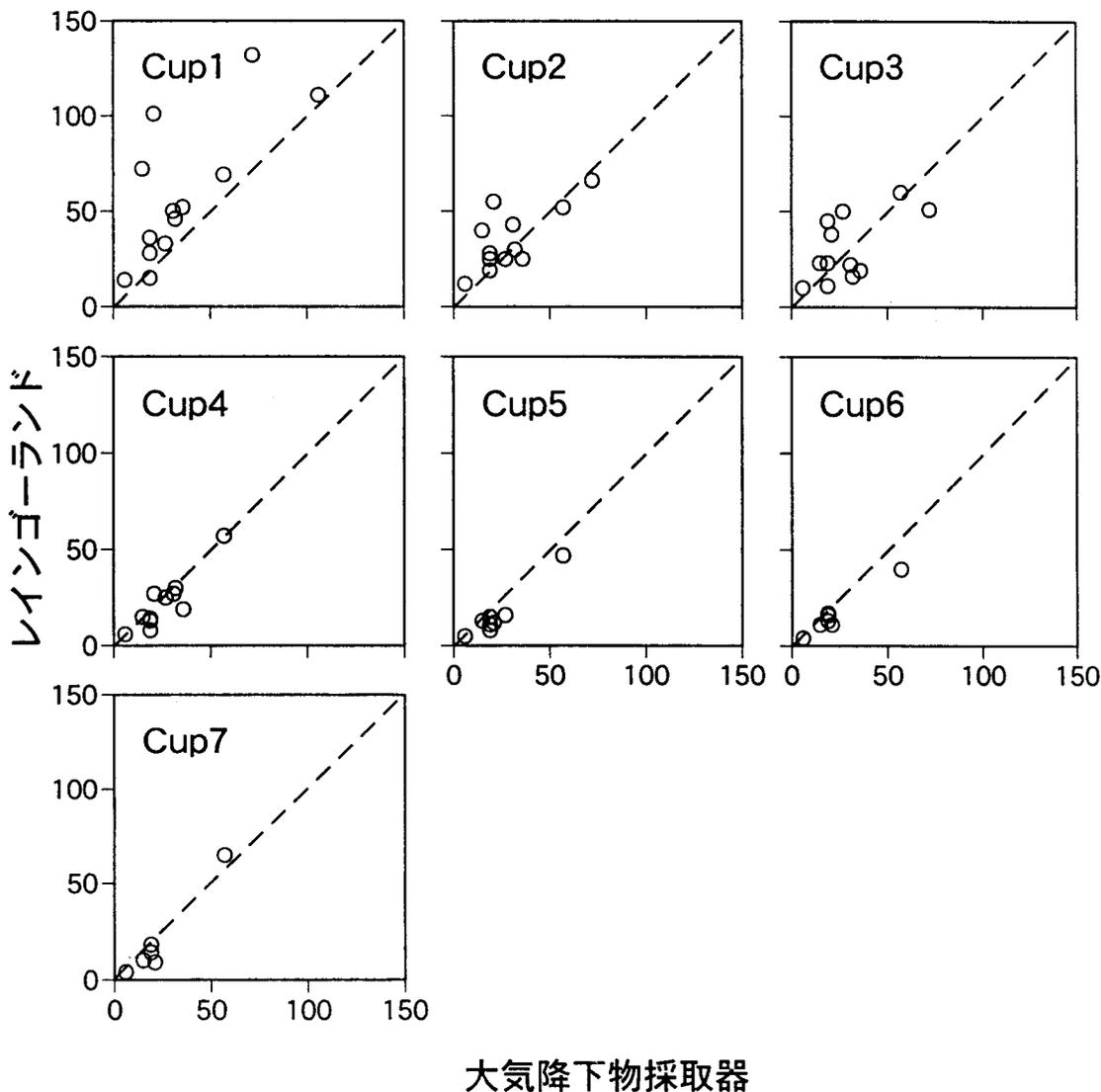


図-3 レインゴーランドと大気降水採取器による採取雨水の導電率測定値の違い

2. タンク型レインゴーランドと大気降水採取器の雨水採取比較試験

1995年の5月から8月までに本部試験地で観測された16回の降雨について、蓋開け器を取り付けたタンク型レインゴーランドで採取された雨水のpH・導電率を、大気降水採取器で採取され

た雨水のpH・導電率と比較した(図-4)。pHについては、値が5より高くなるとデータがばらついたが、5以下では2種の採取器ではほぼ同じ値を示し(図-4)、実際、対応2試料のt検

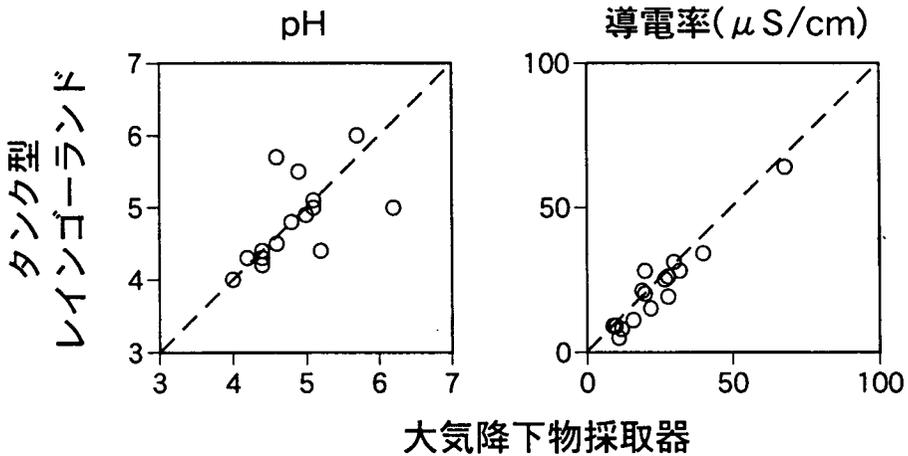


図-4 タンク型レインゴーランド(蓋付)と大気降水採取器による採取雨水のpH・導電率測定値の違い

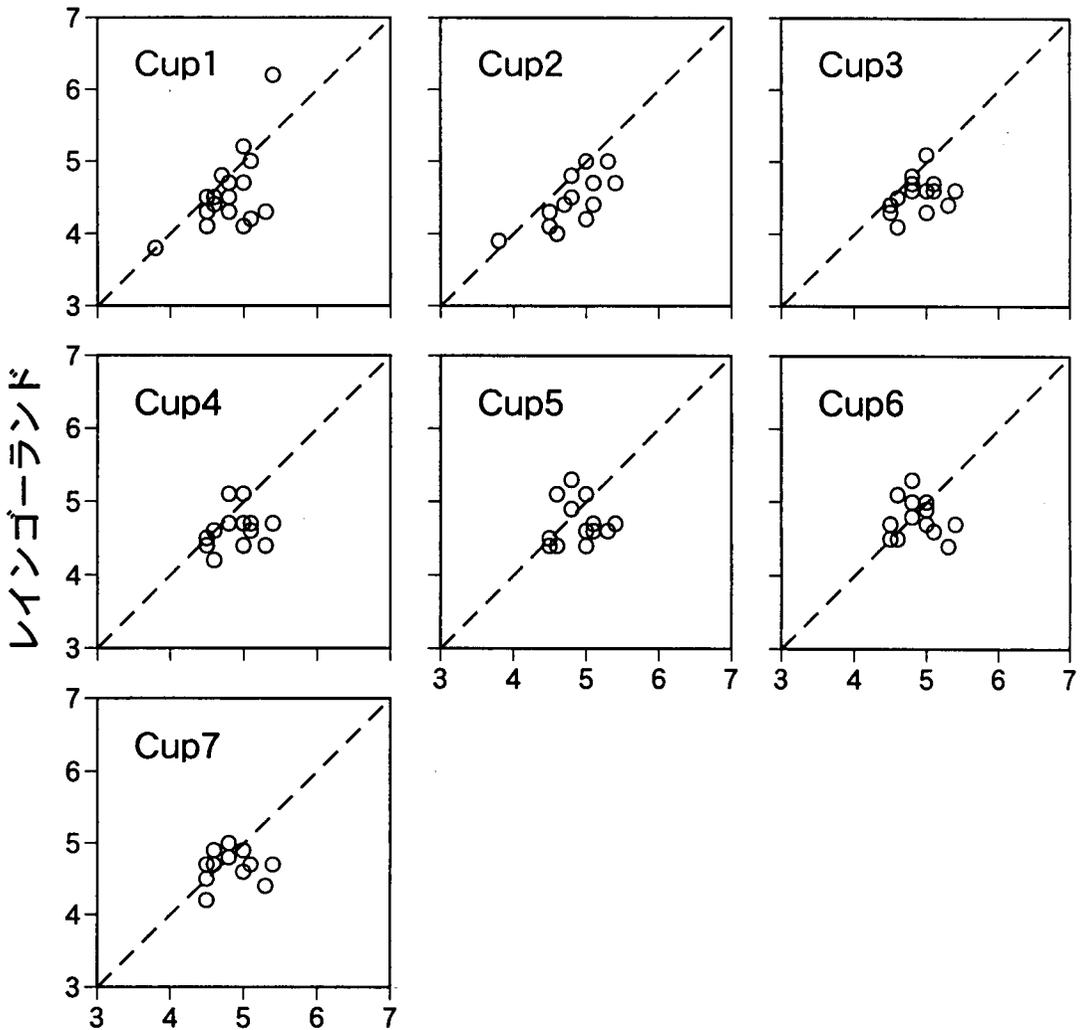
定を行ったところ有意水準5%で両者の間に差は認められなかった($p=0.381$)。導電率は大気降水採取器で採取された雨水の方がタンク型レインゴーランドの値より高い傾向を示し(図-4)、両者の間には有意な差が認められた(対応2試料のt検定, $p=0.033$)。溶存イオン濃度の分析が済んでいないので何ともいえないが、検討する必要がある。

3. レインゴーランドとタンク型レインゴーランドの雨水採取比較試験

1995年の5月から8月までに白浜試験地で観測された17回の降雨について、レインゴーランドの1カップ目から7カップ目までに採取された雨水のpH・導電率を、蓋開け器を取り付けたタンク型レインゴーランドで採取された雨水のpH・導電率と比較した(図-5, 図-6)。レインゴーランドで採取された雨水のpHは、1カップ目から4カップ目まではタンク型レインゴーランドの値より低い傾向を示し、5カップ目から7カップ目までではあまり差が認められなかった(図-5)。導電率は逆にレインゴーランドの1カップ目から4カップ目までではタンク型レインゴーランドより高い傾向にあり、5カップ目から7カップ目まででは差が明らかではなかった。

4. 晴天時の乾性降水物の流入を防ぐ蓋開け器の効果

タンク型レインゴーランドは、蓋開け器を取り付けるものと取り付けないものの2種を用意し、晴天時に漏斗に付着またはタンク内に流入する乾性降水物がどの程度雨水のpH・導電率に影響を及ぼすかを調査した。図-7は1995年の5月から8月までに本部試験地で観測された16回の降雨について、図-8は1995年の5月から8月までに白浜試験地で観測された17回の降雨について、それぞれ蓋開け器を取り付けた場合と取り付けなかった場合のpHと導電率を比較したものである。図-7, 図-8を見る限り、本部試験地においても白浜試験地においても蓋開け器を取り付けた場合と取り付けなかった場合とで明らかな差は認められない。しかし、本部試験地のpH, 導電率, 白浜試験地のpH, 導電率についてそれぞれ対応2試料のt検定を行ったところ、白浜試験地の導電率で有意な差が認められ($p=0.003$)、蓋開け器を取り付けていない場合の導電率が取り付け



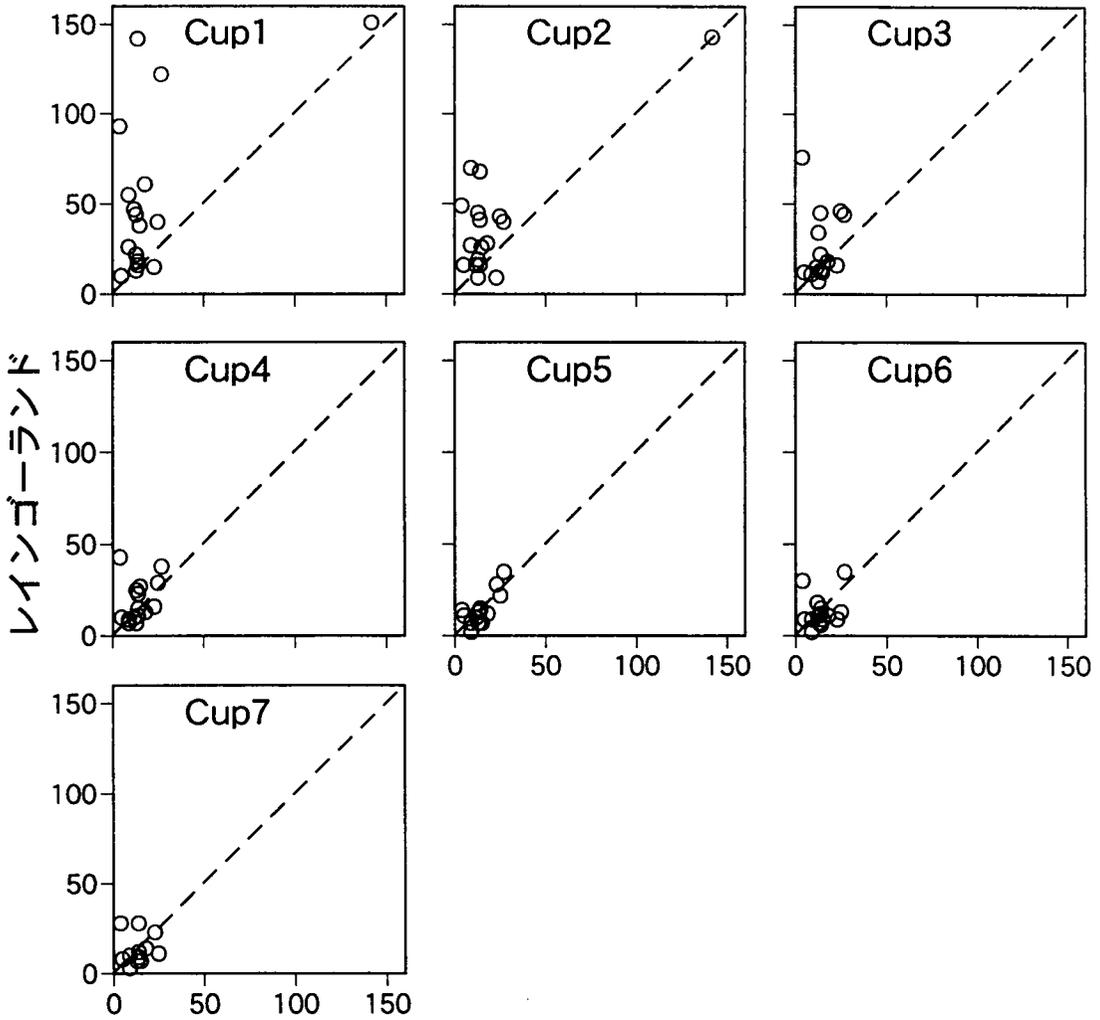
タンク型レインゴーランド

図-5 レインゴーランドとタンク型レインゴーランド（蓋付）による採取雨水のpH測定値の違い

ている場合に比べて高くなっていた。溶存イオン濃度の分析が終了していないので何がこの導電率の差に影響を及ぼしているのかはわからないが、白浜試験地は海に面しているので晴天時の潮風が影響し、 Na^+ イオンの濃度が高くなっている可能性がある。いずれにしても、レインゴーランドの水受け部の漏斗表面に付着する、もしくは漏斗をくぐり抜けてポリタンクまで流入する乾性降下物の影響は無視できず、タンク型レインゴーランドで林外雨を採取する際には蓋開け器の取り付けが必要であると考えられた。

5. 降水量とpH・導電率の関係

転倒ます型雨量計で記録された雨量と雨水のpH・導電率の関係を大気降下物採取器と蓋開け器を取り付けたタンク型レインゴーランドについて示したのが図-9と図-10である。いずれの場



タンク型レインゴーランド

図-6 レインゴーランドとタンク型レインゴーランド(蓋付)による採取雨水の導電率測定値の違い

合も、降水量が少ない場合にはpH・導電率ともに値がばらつき、降水量が多くなるに従ってpHは5あたりに収束していき、導電率は徐々に減少していく傾向がみてとれる(図-9, 図-10)。pHについては、玉置ら⁶⁾の神戸における降雨測定例と同様の傾向である。導電率については、降水量が多くなればなるほど初期降雨の導電率の高い雨水が薄められていく結果だと想像される。

6. 各種雨水採取器による採取雨量の比較

各種雨水採取器で採取された雨水の雨量を転倒ます型雨量計で測定された雨量と比較した。

まず、1995年の3月から8月にかけて本部試験地で大気降下物採取器により採取された雨水(合計29回)の雨量を転倒ます型雨量計の雨量と比較したところ、大気降下物採取器による採取では最低値が1.0mm、最高値が238.0mm、平均25.79mmであったのに対し、転倒ます型雨量計で

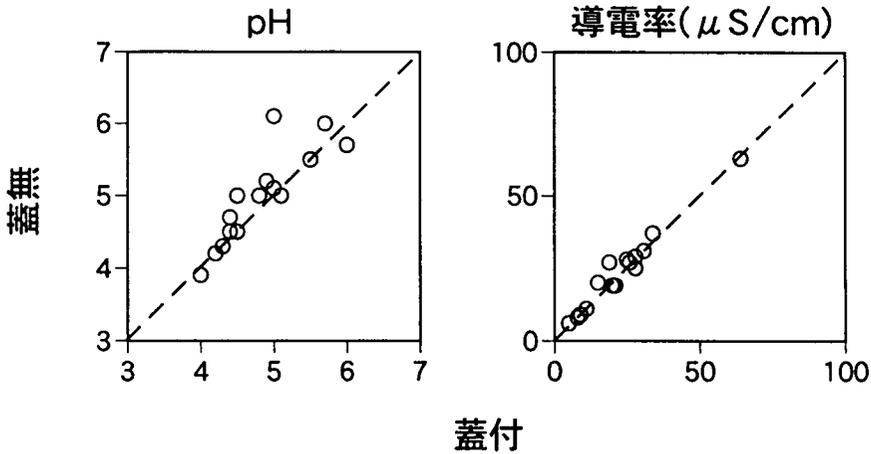


図-7 タンク型レインゴーランドの蓋の有無による採取雨水のpH・導電率測定値の違い (本部試験地)

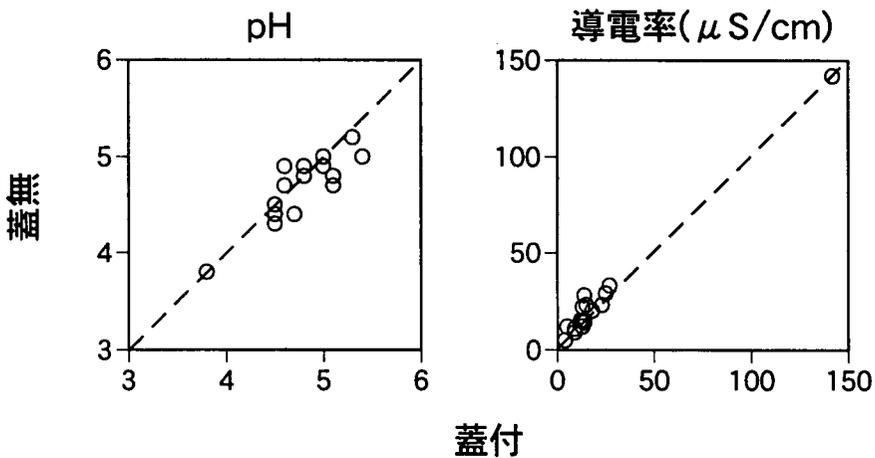


図-8 タンク型レインゴーランドの蓋の有無による採取雨水のpH・導電率測定値の違い (白浜試験地)

は最低値, 最高値, 平均値がそれぞれ1.0mm, 222.0mm, 23.88mmであった。2群間で対応2試料のt検定を行ったところ, 有意な差が認められた ($p=0.018$)。大気降下物採取器の方が転倒ます型より雨量が多めに採取されるようである。

次にタンク型レインゴーランドで採取された雨水の雨量を転倒ます型雨量計の雨量と比較した。本部試験地で1995年の5月から8月にかけて観測された16回の降雨では, 蓋開け器付タンク型レインゴーランドでは最低値, 最高値, 平均値がそれぞれ3.2mm, 218.1mm, 33.90mm, 蓋開け器無タンク型レインゴーランドではそれぞれ3.3mm, 219.8mm, 34.07mm, 転倒ます型雨量計ではそれぞれ3.0mm, 222.0mm, 34.22mmであった。蓋開け器付タンク型レインゴーランドの値と転倒ます型雨量計の値, また, 蓋開け器無タンク型レインゴーランドの値と転倒ます型雨量計の値の間には有意な差は認められなかった (それぞれ $p=0.310$, $p=0.420$, 対応2試料のt検定)。また, 白浜試験地で1995年の5月から8月にかけて観測された17回の降雨でも結果は同様で, 蓋

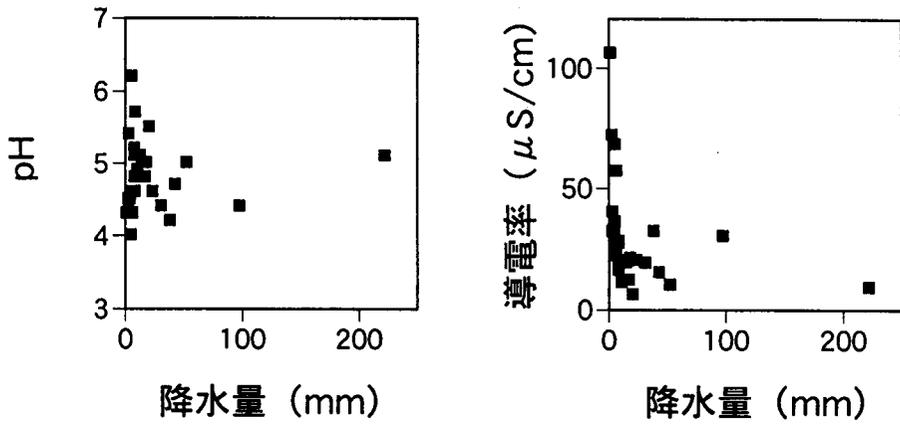


図-9 降水量とpH・導電率の関係 (大気降水採取器)

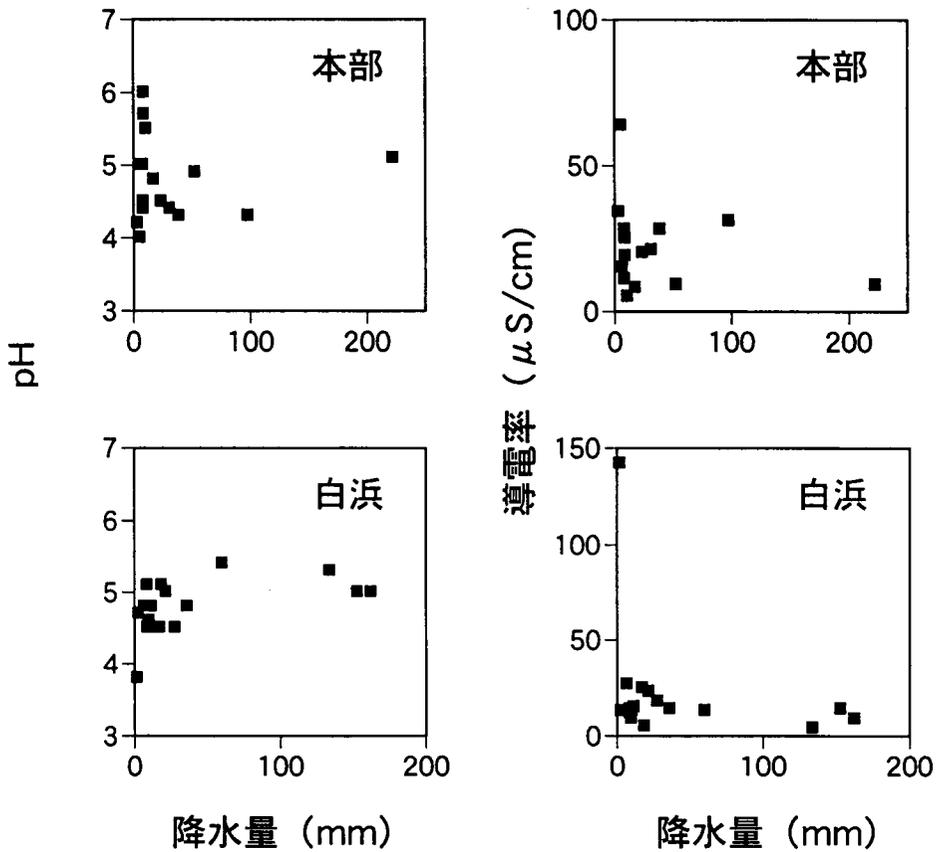


図-10 降水量とpH・導電率の関係 (タンク型レインゴーランド (蓋付))

開け器付タンク型レインゴーランド（最低値1.6mm，最高値165.1mm，平均値39.52mm）と転倒ます型雨量計（最低値1.5mm，最高値162.0mm，平均値40.41mm），蓋開け器無タンク型レインゴーランド（最低値1.7mm，最高値163.5mm，平均値38.99mm）と転倒ます型雨量計の値の間には有意な差は認められなかった（それぞれ $p=0.442$ ， $p=0.417$ ，対応2試料のt検定）。

おわりに

各種雨水採取容器によって採取された雨水のpH，導電率，雨量を比較した結果，大気降下物採取器またはタンク型レインゴーランドによる降雨の一括採取の問題点は

1. pHが低く導電率が高いという初期降雨の特性が捉えられない
2. 大気降下物採取器による採取とタンク型レインゴーランドによる採取では採取雨水の導電率測定値に差がみられる
3. 大気降下物採取器によって採取した雨量と転倒ます型雨量計で記録される雨量との間に差がみられる

の3点である。1番目の問題点は一括採取という性質上避けられない。2番目と3番目については今後検討する必要がある。

また，今までのレインゴーランドによる初期降雨分取から一括採取に切り替えることで

1. 採取・測定作業の省力化がはかれ，長期的なモニタリング体制の構築が可能
2. 一降雨の全量を採取することで降雨の全体的な性質を捉えることが可能

となる。尚，タンク型レインゴーランドの場合，蓋開け器を取り付けることで晴天時の乾性降下物の流入は避けることができるようだが，降雨終了後採取するまで蓋が開いたままになる。少量の降雨の場合，採取するまでに蒸発して無くなってしまうという例が本部試験地で数回あった。そのような問題を回避するためにも，大気降下物採取器による採取が理想的だと思われるが，移行期間はタンク型レインゴーランドと大気降下物採取器を並行して使用していく予定である。

引用文献

- 1) 金子隆之・中井 勇・安藤 信（1993）市販酸性雨分取器を用いた酸性雨の測定—初期降雨のpHの変化について—。日林関西支論。2。57—58。
- 2) 安藤 信・上田晋之助・北川新太郎・羽谷啓造・松場京子（1994）京都市，徳山市，和歌山県白浜町，清水町の酸性雨—1993年梅雨期の初期降雨のpH，ECの測定例—。日林関西支論。3。99—102。
- 3) 中井 勇・北川新太郎・秋田 豊・中根勇雄・柴田昌三・安藤 信・川那辺三郎（1995）徳山試験地における酸性雨について—1993年度の調査結果—。京大演集報。28。18—27。
- 4) 金子隆之・山内隆之・北川新太郎・岸本洋士・神垣秀樹・安藤 信・川那辺三郎（1995）同時降雨イベントにおける地域の違いが初期降雨の酸性度と与える影響—京都府南部・北部での酸性雨測定結果—。

日林関西支論. 4. 39-42.

5) SAS (1985) SAS user's guide: statistics. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.

6) 玉置元則・正賀 充・平木隆年 (1991) 1 降水毎に採取した神戸の降水の化学. 日化誌. 1991(6).
930-935.