

平成 25 年度国内モニタリングデータ（土壌・植生・陸水・集水域）の解析内容について

1. モニタリング地点

土壌・植生、及び陸水のモニタリングは、それぞれ 25 林分及び 11 湖沼で実施された（図 1）。また、伊自良湖では、集水域モニタリングを実施した（図 2）。なお、伊自良湖及び蟠竜湖は EANET 地点でもある。

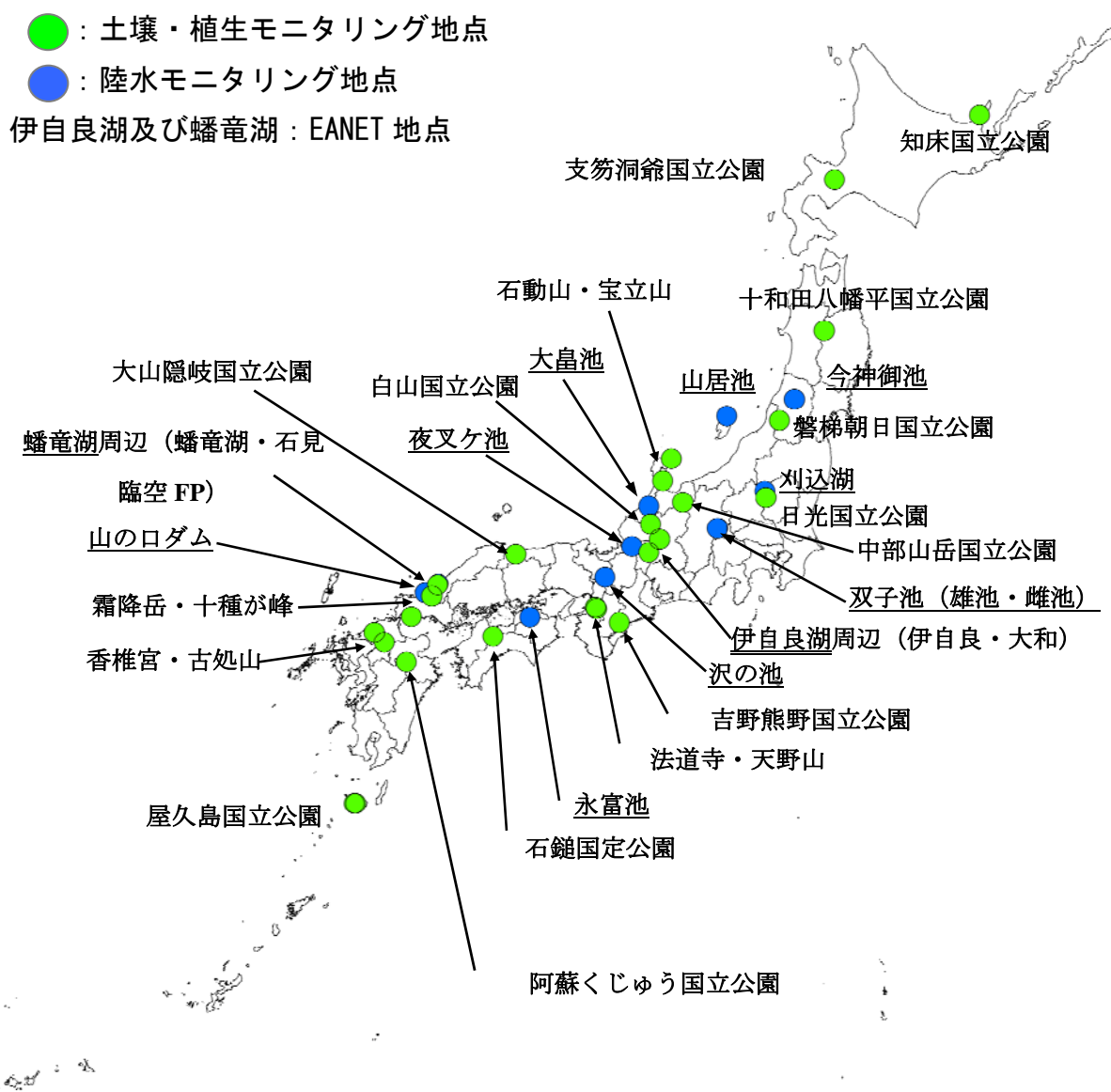


図 1 土壌・植生、陸水及び集水域モニタリング地点

注 1 : 陸水モニタリング地点は下線で示した。注 2 : 二重線で示した伊自良湖（岐阜県）では土壌・植生、陸水に加え集水域モニタリングが実施されている。



図2 伊自良湖集水域モニタリング配置図

注1：図中の枠は、物質収支の評価を行った釜ヶ谷川集水域を示す。注2：図中のRW1、RW2、RW3は、それぞれ釜ヶ谷川の上流、伊自良湖への流入口、孝洞川の河川サンプリング地点を示す。注3：釜ヶ谷川集水域内はヒノキ（49%：樹齢31-35年が最多）及び広葉樹（29%）、孝洞川集水域はアカマツ（46%：樹齢66-70年が最多）及び広葉樹（30%）が主体の森林（2005年森林資源構成表による、樹齢は当時のもの）。

2. モニタリングの結果

(1) 土壌・植生モニタリング

土壌モニタリング及び植生モニタリングの森林総合調査は、上記のモニタリング地点を5つのグループに分けて5年に1回実施される。これまで、平成15年（2003年）度、平成20年（2008年）度に同様の調査が行われた。平成25年（2013年）度においては、支笏洞爺国立公園（北海道）、日光国立公園（栃木県）、大山隠岐国立公園（鳥取県）、霜降岳及び十種ヶ峰（山口県）の5地点で、土壌モニタリング及び森林総合調査が実施された。各項目の経年変化等について示した後、各サイトの概況について簡単に述べた。

①土壌モニタリング

平成25年度は土壌の採取及び化学分析に問題点は認められず、各分析機関における繰り返し分析の精度も良好であった。一方、各プロットのサブプロット間変動が霜降岳でやや大きく、また大山隠岐と十種ヶ峰では1地点で突出して高いCa濃度が検出された。微地形、不均質なリター堆積等による影響も考えられたが、その要因ははっきりしておらず、これらの値を含めモニタリング値

として採用している。表 1 に代表的な土壌化学性における平均値の経年変化を示した。

表 1 平成 25 年度土壌調査プロットにおける土壌化学性平均値の経年変化. カッコ内はサブプロット (N=5) の標準偏差を示す。a, b, c は分散分析による年度間の有意差を示す。Tukey の方法による多重比較, N= 5, p <0.05。交換性塩基は交換性 Na, K, Ca 及び Mg の合計を示す。

調査地点名	Plot No.	土壌層(cm)	採取年度	pH(H2O)	pH(KCl)	交換性塩基 (cmol kg^{-1})	交換酸度	塩基飽和度 (%)	全炭素 (g kg^{-1})	全窒素 (g kg^{-1})
支笏洞爺	1	0-10	2003	4.9 (0.2)	4.0 (0.1)	5.7 (1.0)	2.4 (0.8)	70 (10)		
			2008	4.7 (0.1)	3.8 (0.1)	6.3 (1.2)	2.8 (0.8)	69 (9)		
			2013	4.8 (0.2)	4.0 (0.2)	5.3 (1.3)	2.8 (1.4)	67 (16)		
		10-20	2003	5.1 (0.1)	4.3 (0.2)	1.2 (0.29)	1.7 (1.2)	49 (23)		
			2008	5.0 (0.1)	4.1 (0.2)	2.0 (0.61)	3.4 (1.3)	38 (11)		
			2013	5.1 (0.2)	4.2 (0.2)	2.1 (0.61)	3.6 (0.9)	37 (3)		
	2	0-10	2003	4.9 (0.2)	3.9 (0.2)	9.4 (3.0)	b 1.2 (0.7)	a 87 (8)	b	
			2008	4.9 (0.2)	3.9 (0.2)	5.9 (1.1)	a 2.1 (0.2)	ab 73 (4)	a	
			2013	4.9 (0.1)	4.1 (0.1)	4.7 (0.83)	a 2.5 (1.4)	b 69 (17)	a	
		10-20	2003	5.2 (0.2)	4.2 (0.2)	2.4 (0.78)	2.2 (0.8)	52 (16)		
			2008	5.2 (0.2)	4.2 (0.2)	2.2 (0.90)	2.0 (0.7)	52 (15)		
			2013	5.1 (0.2)	4.4 (0.2)	1.8 (0.64)	3.0 (0.8)	36 (5)		
日光	1	0-10	2003	4.6 (0.2)	ab 4.0 (0.1)	1.1 (0.19)	3.7 (1.0)	24 (4)		
			2008	4.4 (0.1)	a 3.9 (0.1)	1.1 (0.61)	4.2 (1.2)	20 (6)		
			2013	4.7 (0.2)	b 4.1 (0.2)	1.1 (0.28)	4.0 (2.2)	26 (19)	133 (12)	9.2 (0.7)
		10-20	2003	4.7 (0.2)	a 4.1 (0.2)	a 0.78 (0.14)	b 3.0 (1.2)	22 (6)		
			2008	4.7 (0.1)	a 4.3 (0.1)	ab 0.58 (0.08)	a 1.5 (0.5)	29 (7)		
			2013	5.0 (0.2)	b 4.4 (0.2)	b 0.61 (0.14)	ab 2.5 (1.1)	23 (11)	87 (13)	6.0 (0.8)
	2	0-10	2003	4.8 (0.1)	b 4.1 (0.2)	b 1.6 (0.89)	3.6 (1.0)	30 (9)		
			2008	4.3 (0.1)	a 3.8 (0.1)	a 1.0 (0.19)	4.7 (0.8)	18 (4)		
			2013	5.0 (0.1)	b 4.3 (0.1)	b 1.0 (0.36)	3.4 (1.2)	25 (16)	98 (11)	7.7 (0.7)
		10-20	2003	5.0 (0.1)	b 4.4 (0.1)	b 1.7 (1.9)	1.3 (0.4)	a 47 (15)	b	
			2008	4.5 (0.1)	a 4.1 (0.1)	a 0.71 (0.13)	2.7 (0.5)	b 21 (5)	a	
			2013	5.2 (0.1)	c 4.6 (0.1)	b 0.55 (0.23)	1.4 (0.7)	a 33 (20)	ab 67 (6.2)	5.4 (0.5)
大山隠岐	1	0-10	2003	4.4 (0.2)	ab 3.6 (0.2)	b 3.7 (1.8)	9.6 (1.6)	a 27 (8)		
			2008	4.6 (0.1)	a 4.0 (0.0)	a 0.76 (0.16)	5.5 (0.4)	b 12 (2)		
			2013	4.2 (0.2)	b 3.7 (0.1)	b 3.0 (4.3)	9.5 (2.5)	a 18 (20)		
		10-20	2003	4.9 (0.1)	ab 4.2 (0.1)	b 0.65 (0.10)	5.4 (1.1)	a 11 (2)		
			2008	5.0 (0.1)	a 4.4 (0.0)	a 0.39 (0.07)	2.7 (0.4)	b 13 (1)		
			2013	4.7 (0.2)	b 4.1 (0.1)	b 0.92 (1.0)	4.8 (1.1)	a 14 (8)		
	2	0-10	2003	4.2 (0.1)	ab 3.4 (0.1)	b 4.0 (2.9)	11.3 (1.9)	ab 25 (17)		
			2008	4.4 (0.3)	a 3.9 (0.3)	a 0.92 (0.35)	8.1 (2.4)	b 10 (1)		
			2013	4.0 (0.1)	b 3.6 (0.1)	ab 1.1 (0.25)	12.1 (1.3)	a 8 (1)		
		10-20	2003	5.0 (0.1)	a 4.2 (0.1)	ab 0.59 (0.11)	5.8 (1.3)	10 (2)		
			2008	4.9 (0.1)	a 4.3 (0.1)	a 0.45 (0.21)	3.8 (1.7)	11 (1)		
			2013	4.6 (0.1)	b 4.1 (0.1)	b 0.51 (0.13)	4.9 (2.1)	14 (18)		
霜降岳	1	0-10	2003	4.9 (0.2)	3.9 (0.2)	1.8 (1.0)	3.1 (0.8)	36 (16)		
			2008	4.8 (0.3)	3.8 (0.3)	3.6 (1.8)	1.8 (0.9)	63 (20)		
			2013	4.9 (0.2)	3.9 (0.1)	2.4 (1.0)	2.9 (0.7)	44 (16)		
		10-20	2003	5.0 (0.2)	4.0 (0.2)	b 1.2 (1.0)	3.4 (1.2)	26 (19)		
			2008	4.8 (0.3)	3.7 (0.2)	a 1.5 (1.0)	3.5 (1.4)	31 (22)		
			2013	4.8 (0.1)	3.8 (0.1)	ab 1.4 (0.82)	3.6 (0.6)	27 (10)		
	2	0-10	2003	5.0 (0.2)	b 4.0 (0.2)	1.5 (0.87)	2.6 (0.7)	36 (18)		
			2008	4.8 (0.3)	ab 3.8 (0.1)	1.7 (1.1)	2.3 (0.8)	40 (22)		
			2013	4.6 (0.2)	a 3.9 (0.1)	1.0 (0.38)	3.1 (0.3)	24 (7)		
		10-20	2003	5.1 (0.2)	b 4.1 (0.1)	b 1.4 (0.79)	2.5 (0.5)	34 (17)		
			2008	4.7 (0.2)	a 3.9 (0.1)	a 0.72 (0.56)	2.8 (0.7)	21 (17)		
			2013	4.6 (0.1)	a 3.9 (0.1)	a 0.72 (0.13)	3.3 (0.3)	18 (3)		
十種ヶ峰	1	0-10	2003	4.5 (0.1)	3.9 (0.1)	b 1.5 (1.1)	10.0 (1.5)	b 13 (10)		
			2008	4.4 (0.3)	3.7 (0.1)	a 1.3 (0.44)	8.0 (0.9)	a 14 (5)		
			2013	4.3 (0.1)	3.6 (0.1)	a 1.3 (0.24)	9.2 (0.7)	ab 12 (2)		
		10-20	2003	4.7 (0.2)	b 3.9 (0.1)	c 1.2 (0.59)	9.6 (1.0)	b 11 (6)		
			2008	4.5 (0.2)	a 3.8 (0.0)	b 0.72 (0.23)	7.9 (1.0)	a 8 (3)		
			2013	4.3 (0.1)	a 3.7 (0.0)	a 0.84 (0.12)	9.6 (0.5)	b 8 (1)		
	2	0-10	2003	4.6 (0.2)	3.9 (0.1)	b 1.0 (0.41)	10.4 (2.9)	10 (5)		
			2008	4.6 (0.3)	3.7 (0.2)	ab 3.2 (4.6)	6.5 (2.6)	27 (32)		
			2013	4.3 (0.2)	3.6 (0.1)	a 1.4 (0.74)	10.8 (2.1)	12 (7)		
		10-20	2003	4.7 (0.1)	4.0 (0.1)	b 0.60 (0.10)	11.0 (1.1)	b 5 (1)		
			2008	4.8 (0.4)	3.8 (0.2)	ab 2.5 (3.6)	6.7 (2.9)	a 24 (33)		
			2013	4.5 (0.1)	3.7 (0.1)	a 0.90 (0.35)	10.6 (1.4)	b 8 (4)		

②森林総合調査

平成 20 年（2008 年）度から 25 年（2013 年）度にかけて各サイトの個体数・材積の特筆すべき変化は見られなかった。胸高直径（diameter at breast height, DBH）が 4cm 以上の個体を対象にした比較（図 2）において、胸高断面積が日光でやや減少し、十種ヶ峰で増加する傾向が見られた。一方、観測された多くの枯死木は植生遷移の進行に伴う下層木の枯死等であり、個体数・材積の増減とともに健全な森林動態による変動として説明可能と考えられた。

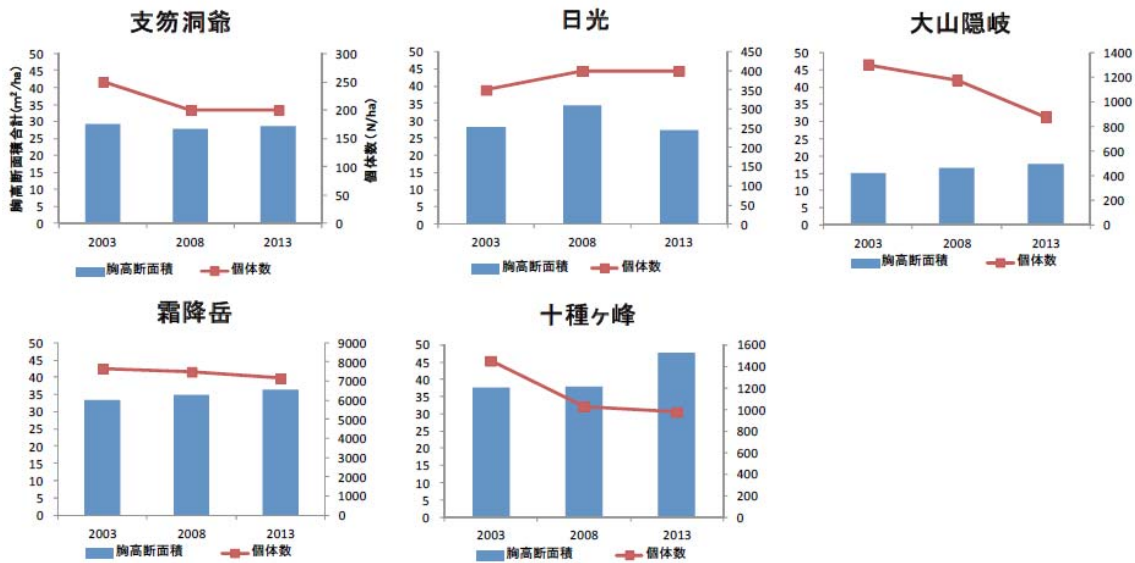


図 2 平成 25 年度森林総合調査（毎木調査）の中円プロットにおける胸高断面積合計と個体数の経年変化。小円+中円プロット 400 m² における DBH>4cm の個体を対象としている。

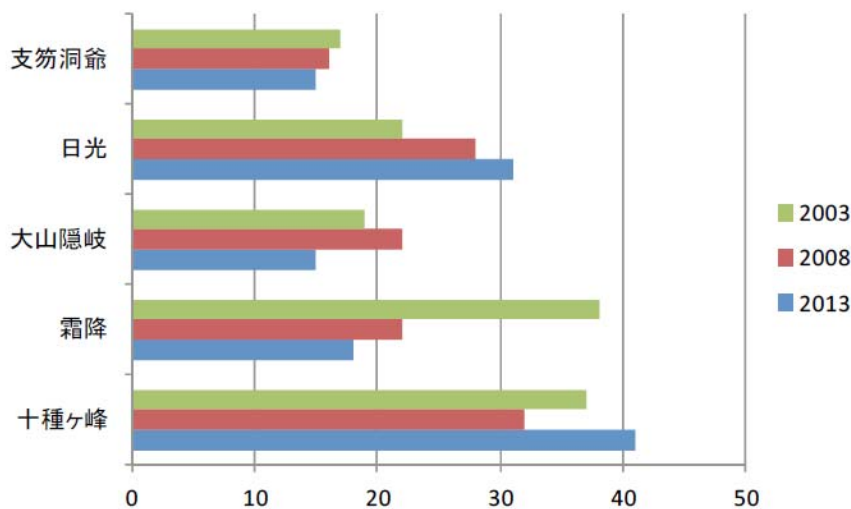


図 3 平成 25 年度森林総合調査（毎木調査）プロットにおける下層植生種数の経年変化

表2 平成25年度樹木衰退度結果の概況(各地点及び項目の得点率)。顕著な異常がプロット内の全個体に認められた場合を100とした割合(%)を示す。カラーバーも各カラムの幅を100とした得点率。空欄は得点率0を示す(衰退なし)。

Local	樹形	樹勢	枝の生長量	梢端の枯損	葉の障害	葉の変形度	葉色	落葉率	ダメージクラス	H25の衰退要因	過去のイベント等
知床	11	7		6			2	6	6	a,b,c	
支笏洞爺	11	8	6	3			3	3		a	
十和田八幡平	28	18	18	8				7		b	
磐梯朝日	1	3	3	2						a,b,c	H22にブナハバチ被害
中部山岳	14	11	3	8						h	
日光	8	7		1	2			3		a,f	
白山	1	3	8	2						b	
宝立山			1							a	ナラ枯れが終息
石動山	8		2							b	
法道寺	38	3	2	35	1	5	5	15	7	a	
天野山		2	2		2		2	2	2	h	
吉野熊野	15	13	2	22	3	2	1	13		a	H20にシカ防護策を設置
大山隠岐	27	17	23	23	1	2	13	13	1	a,c	H22に雪害
石鎚	8	5	5	5				5	5	b	
霧降											
十種ヶ峰											H19に間伐
香椎宮1				12						a	
香椎宮2	7	5		3						a,b	
古処山1	3			7						a,c	
古処山2	2			3						a	
屋久島1											
屋久島2											
阿蘇くじゅう		2		2				2		a	
伊自良	3	8		8						a	
大和	5	2		3						a	
蟠竜湖2											ナラ枯れが終息しつつある
石見臨空	13	7	13	13	4		4	4	7	d	ナラ枯れあり

得点率(%)=各年度のプロット内点数の合計/(各年度のプロット内個体数×3(最高点))

調査者による衰退の要因(a, 被圧・競合・腐朽; b, 気象害(台風・雪・凍害等); c, 食害(虫・獣害); d, ブナ科樹木萎凋病; e, その他の病害; f, 表土流出; g, 間伐等の施策; h, 不明)

③樹木衰退度調査

表2に樹木衰退度結果の概況を示した。平成25年度に報告された樹木衰退兆候の多くは周囲からの被圧・気象害・病虫害等によるものと考えられたが、中部山岳・天野山の一部個体で原因がはっきりしない衰退の兆候が認められた。このうち、天野山のヒノキ1個体について、大気影響の指標となる葉色及び落葉率の異常がわずかに認められた。施業あるいは自然要因により枯死した調査木の新たな選定が各サイトで実施されているが、立木密度の低い地点における新たな選定が困難になりつつある。

④平成25年度土壌・森林総合モニタリング地点の概況

支笏洞爺国立公園: 0-10 cm の pH (H₂O)は平均で4.8であったが、塩基飽和度は68%と本モニタリングの他のサイトと比較して高い範囲にあった。pHに有意な経年変化は見られなかったが、平成15年度から平成25年度にかけてプロット2の0-10 cmで交換性塩基濃度が有意に減少し、交換酸度が有意に増加した。ただし、プロット周辺の森林の状況に大きな変化は見られず、その要因は不

明であった。

日光国立公園：0-10 cm の pH (H₂O)は 4.9、塩基飽和度は 26%と平均的な範囲にあった。平成 15 年度から平成 20 年度にかけて一部で pH (H₂O)が有意に低下したが、平成 25 年度では再び有意に上昇して平成 15 年度の水準に戻っていた。pH (KCl)についても同様の傾向が認められた。ニホンジカによる食害に加え、平成 16 年度及び平成 18 年度に台風の影響を受けた樹形の変化・梢端の枯損が報告されており、こうした攪乱に伴う樹木成長や下層植生の変動が吸収やリター堆積の変化を通じて土壌 pH に影響を及ぼした可能性もあった。

大山隠岐国立公園：0-10 cm の pH (H₂O)は平均で 4.1、塩基飽和度は 13%と他サイトに比べ低い範囲にあった。ただし、平成 25 年度にはプロット 1 サブプロット 5 で顕著に高い Ca が検出されており（周囲のサブプロットの約 30 倍）、これを除いた塩基飽和度の平均は 8.9%であった（pH はほぼ変化なし）。pH (H₂O)は平成 20 年度から平成 25 年度にかけて有意に低下したが、pH (KCl)は平成 15 年度から平成 20 年度に有意に上昇した後、平成 25 年度に再び平成 15 年度の水準に戻る傾向が見られた。プロット 1 サブプロット 5 を除いた場合、プロット 1 では平成 15 年度から平成 20 年度および平成 25 年度にかけて塩基飽和度が有意に低下していた。大山隠岐では平成 22 年度から平成 23 年度にかけての大雪で最深積雪が 3m を超えており、平成 25 年度の調査では雪害による倒伏・枯死が多く認められた。こうした気象イベント後の個体数の減少と樹体の成長が土壌 pH の低下に影響を及ぼした可能性もあるが、大気沈着による影響についても注視していく必要がある。

霜降岳：0-10 cm の pH は 4.7、塩基飽和度は 34%と平均的な範囲にあった。プロット 2 の 0-20 cm では、平成 15 年度から平成 20 年度にかけて pH (H₂O)が低下しており、平成 25 年度もその傾向が続いていた。一方、その他の項目に明瞭な経年変化は見られなかった。霜降岳では平成 16 年度の台風によりコナラ、タブノキ等に梢端の枯損等の影響が認められたものの、現在は回復過程にある。こうした通常の森林動態が土壌 pH の低下に影響を与えた可能性もあるが、現時点でその要因ははっきりしておらず、大気沈着による影響についても引き続き注視していく必要がある。

十種ヶ峰：0-10 cm の pH は 4.3、塩基飽和度は 12%とやや低い範囲にあった。pH (KCl)は平成 15 年度より有意に低下しており、平成 25 年度はその傾向がさらに明瞭となった。一方、プロット 1 では平成 15 年度から平成 20 年度に交換酸度が低下して pH (KCl)の傾向に矛盾していたが、平成 25 年度では再び上昇して平成 15 年度の水準に戻っていた。十種ヶ峰では平成 19 年度に実施されたヒノキ林の間伐により林内環境が大きく変化した。さらに土壌採取直前の平成 25 年 7 月 28 日には山口島根豪雨の直撃を受けており、これらが土壌 pH (KCl)の低下に影響した可能性がある。ただし、現時点でその要因ははっきりしておらず、大気沈着影響についても引き続き注視していく必要がある。なお、豪雨による土砂崩れ補修のための運搬道路がプロット内に造成されたため、次回より土壌プロットを数十 m ほど移動する予定である。

(2) 陸水

表層水の pH の経年変動を図 5 に示し、平成 25 年度のデータは赤枠で囲った。

- ・大畠池及び永富池において、例年と比べ高い値が見られたが、明確な理由は不明であった。
- ・夜叉ヶ池、雌池（双子池）及び沢の池では pH 平均が 6 を下回っており、特に夜叉ヶ池は低下傾向が続いているため、注視する必要がある。

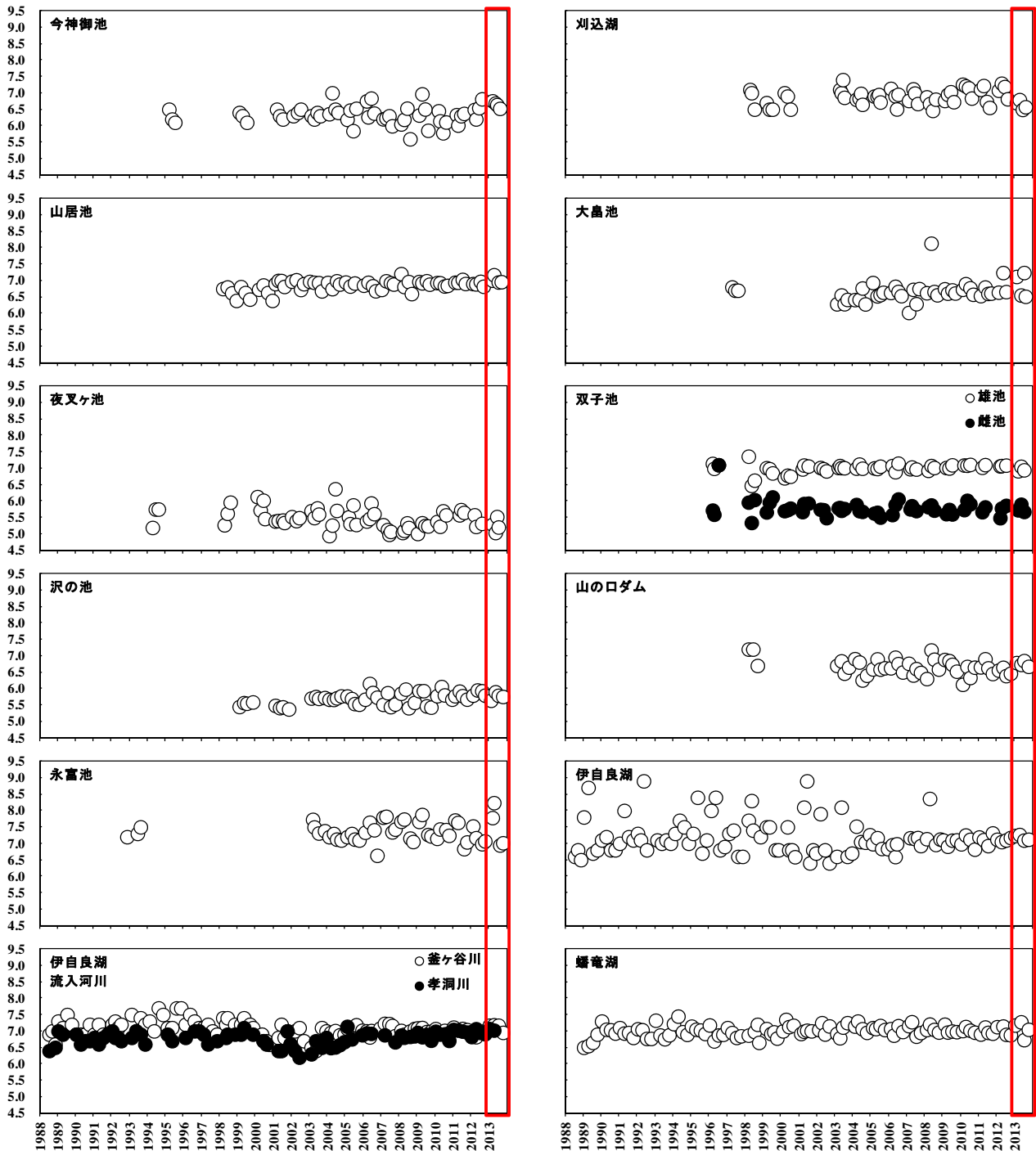


図 5 各調査地点における表層水の pH の経年変動（赤枠内は平成 25 年度）

表層水のアルカリ度の経年変動を図6に示し、平成25年度のデータは赤枠で囲った。

- ・各地点とも例年と比べ大きな変動は見られなかった。
- ・今神御池、夜叉ヶ池、雌池（双子池）及び沢の池ではアルカリ度平均が 0.1 meq/L を下回っており、特に夜叉ヶ池は低下傾向が続いているため、注視する必要がある。

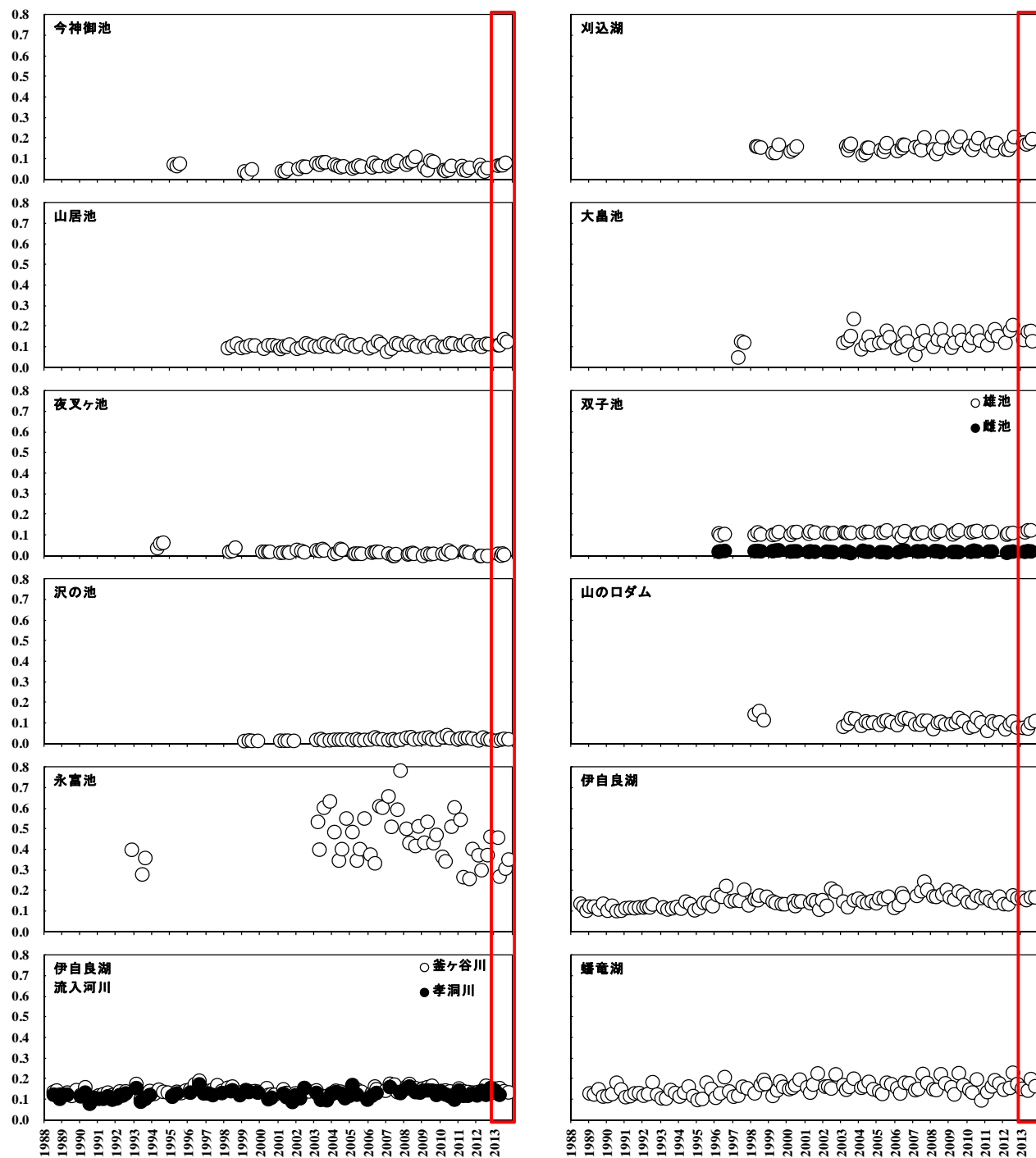


図6 各調査地点における表層水のアルカリ度（4.8法、meq/L）の経年変動（赤枠内は平成25年度）

表層水の硫酸イオン濃度の経年変動を図7に示し、平成25年度のデータは赤枠で囲った。

- ・各地点とも例年と比べ大きな変動は見られなかった。
- ・伊自良湖及びその流入河川である釜ヶ谷川において、1993年から1998年にかけて上昇していた硫酸イオン濃度は、それ以前の濃度レベルに戻り、安定している。

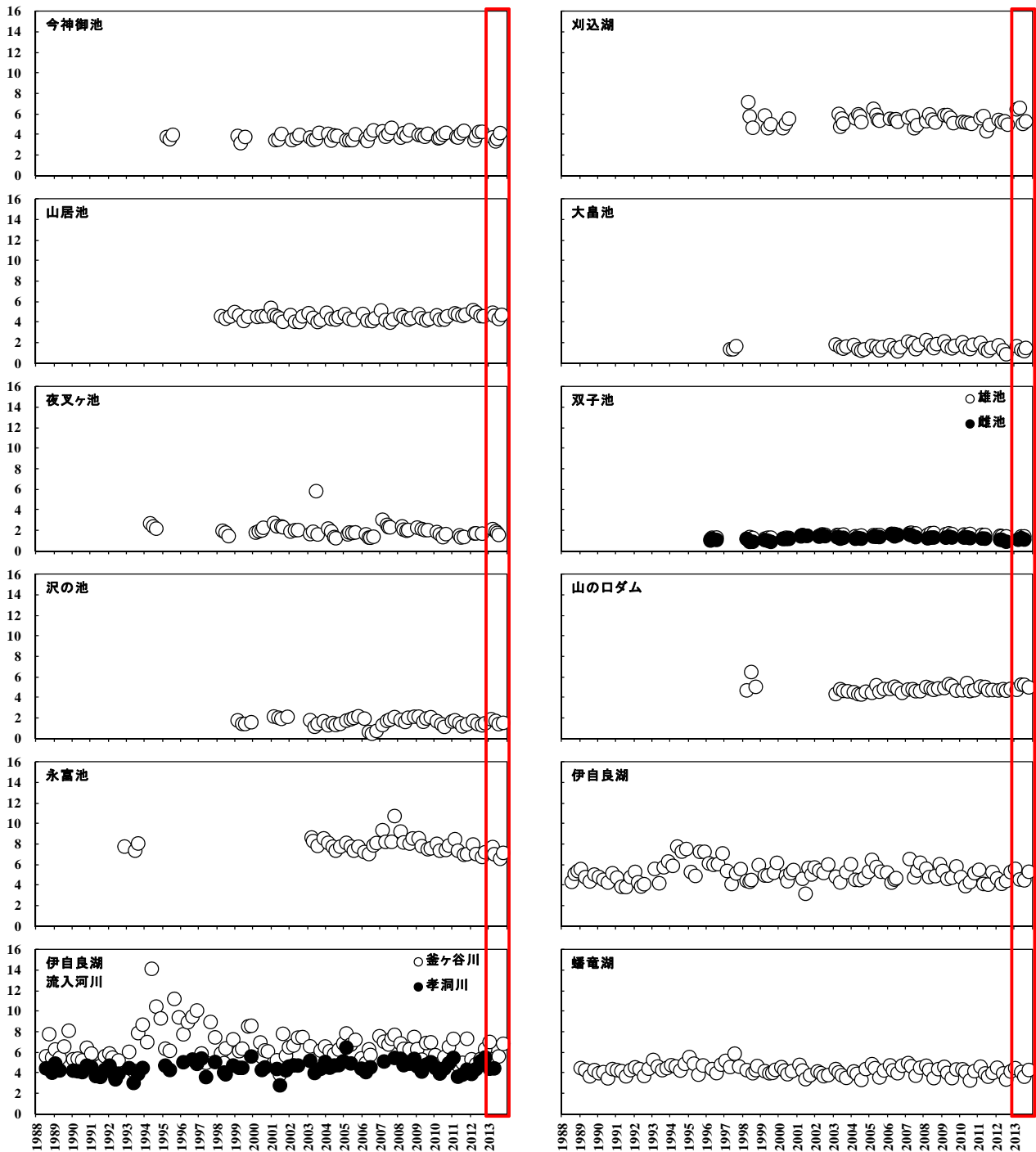


図7 各調査地点における表層水の硫酸イオン濃度 (mg/L) の経年変動 (赤枠内は平成25年度)

表層水の硝酸イオン濃度の経年変動を図8に示し、平成25年度のデータは赤枠で囲った。

- ・各地点とも例年と比べ大きな変動は見られなかった。
- ・伊自良湖及びその流入河川では、2001年までの上昇傾向の後、下降傾向が続いており、2013年度も同様の傾向を示した

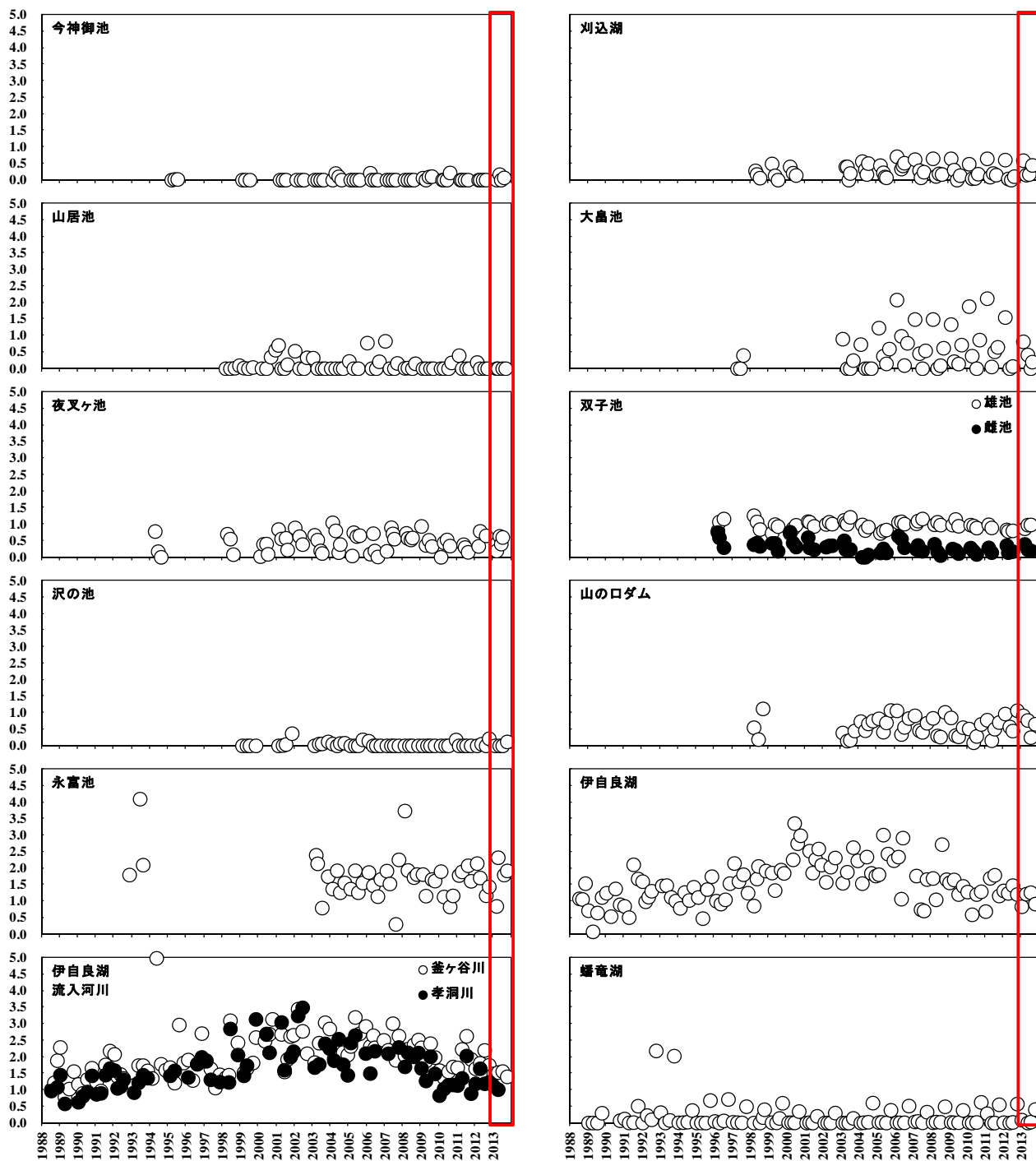


図8 各調査地点における硝酸イオン濃度 (mg/L) の経年変動 (赤枠内は平成25年度)

(3) 集水域

- 2012-2013 水年における、釜ヶ谷川 (RW1 及び RW2)、及び孝洞川の pH、アルカリ度 (pH 4.8 終点法)、及び SO_4^{2-} 濃度は、いずれも前水年並であったが、 NO_3^- 濃度は、若干低めであった (図 10)。流量観測をしている RW1 での NO_3^- 濃度の加重平均は、2 水年続けて低下した (前々水年からそれぞれ 36.4、30.1 及び 26.8 $\mu\text{mol}_c \text{L}^{-1}$)。
- 2013 年 7 月 29 日に、pH 及びイオン濃度の著しい低下あるいは TOC 及び NO_3^- の著しい上昇が見られたが、当日は 90 mm 以上の降雨により流量が通常の数倍以上になったことが確認されており、その影響と考えられた。

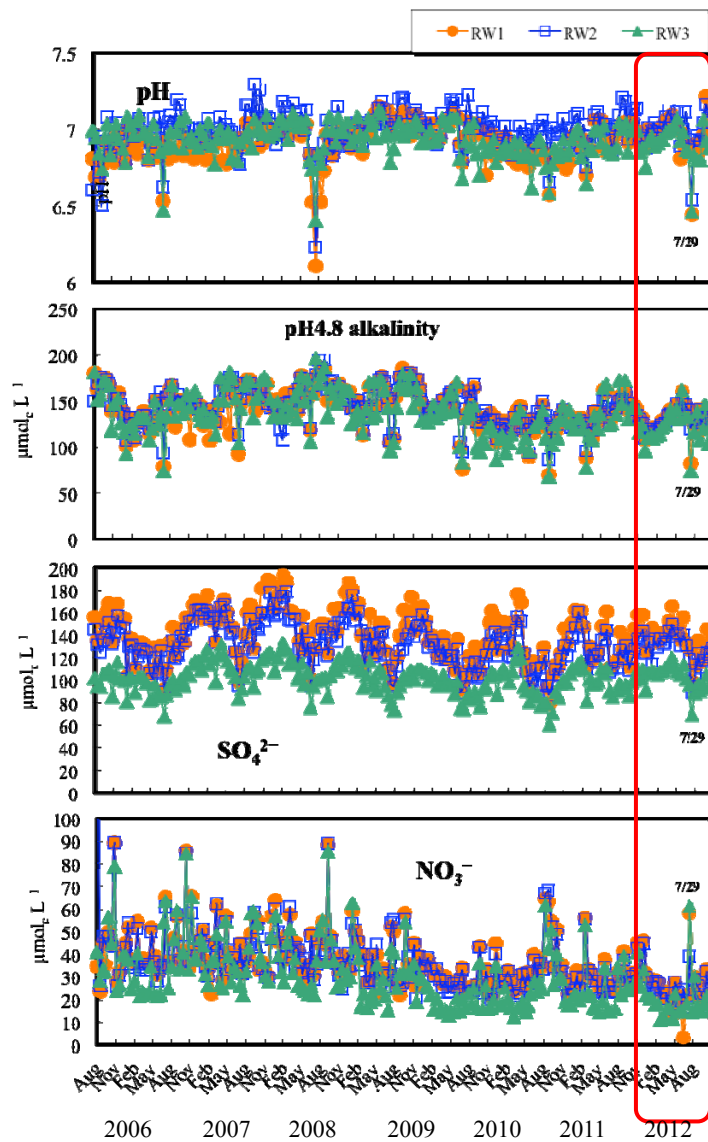


図 10 伊自良湖集水域内の河川水質の変化。

注 1 : 赤枠が 2012-2013 水年部分。注 2 : RW1、RW2 及び RW3 は、それぞれ、釜ヶ谷川の上流、伊自良湖

への流入口、及び孝洞川のサンプリング地点を示す。

- 釜ヶ谷川集水域における降水量及び河川流出量は、前水年並みであった（3地点の平均降水量：2976 mm；流出量：1417 mm）。また、大気から集水域内への流入量（総沈着量）及び河川からの流出量も前水年並みであった（図 11）。NO₃⁻の流出量は、2水年続けて低下した（前々水年からそれぞれ、0.6、0.5 及び 0.4 kmol_c ha⁻¹）。
- 当該集水域における総沈着量に占める乾性沈着の寄与率は非常に低い。越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング報告書（平成 20～24 年度）における乾性沈着の不確実性に関する検討によると、周辺のアメダス局の気象データを用いて乾性沈着速度を推定した場合、硫黄化合物では 2.3～4.4 倍、窒素化合物では 2.4～5.6 倍、大きい値になる可能性が指摘されている。
- 大気からの流入量が流出量を上回っていることが指摘されている SO₄²⁻は、前水年までと同様に、流入量の 2 倍以上流出していると推定された。生態系内で比較的不活性と考えられている Cl⁻が流出量と同程度流入していると仮定し、SO₄²⁻の年流入量を Cl⁻との組成比に合わせて増やしたとしても 0.96 kmol_c ha⁻¹であり、流出量（1.9 kmol_c ha⁻¹）が 2 倍近く上回っていると考えられた。また、上記の不確実性に加え、降水量分布や河川流出量の過小評価等を考慮しても、SO₄²⁻の流出量は流入量を上回っていると考えられた。

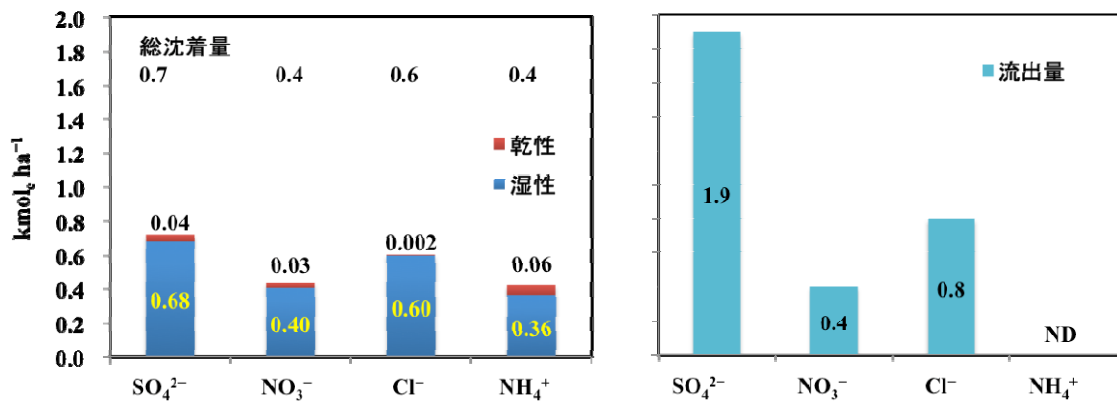


図 11 2012-2013 水年における釜ヶ谷川集水域の年総沈着量（左）及び年流出量（右）。

注 1：総沈着量は、伊自良湖酸性雨測定所における湿性沈着モニタリング及び大気汚染物質モニタリング（フィルターパック法及び自動測定装置による）の 2012 年 11 月から 2013 年 10 月までの月データを用いて、年間値を推定した。注 2：乾性沈着の土地利用は森林とし、SO₄²⁻、NO₃⁻、及び NH₄⁺の乾性沈着にはそれぞれ、ガス状の SO₂、NO₂ と HNO₃、及び NH₃ を含む。