ノンポイント研究分科会話題提供　09-3/16発表予定　於山口

利根川上流域における窒素飽和現象の検討--渓流水と降雨

首都圏から飛来する大気汚染物質(窒素化合物)と越後山脈周辺の雨水及び沢水中窒素濃度との関係

群馬高専　青井　透、登山家　森　邦広、長蔵小屋　平野太郎
富山県立大学　川上　智規

利根川上流域は清澄な河川であり窒素に関しては殆ど公式な水質データはないが既に窒素飽和している地域があるように思える・ではその原因は?

鉄人登山家　森　邦広
谷川岳登頂　2500回+α

本説明で特に説明無い場合の窒素とは無機態窒素のことです

尾瀬の歴史・長蔵小屋

研究の背景

・天然水(温泉、深層地下水等)中には硝酸態窒素は存在しないので、人為活動の良い指標となる

・河川源流部沢水の水質(窒素成分)は、降雨水質の影響を強く受けると思われるが、両者の関係についての検討は殆ど行われていない

・人為的な汚濁のない源流水中の窒素成分については、地質由来説や降雨由来説があるが、別途林学関係では“北関東の森林土壌は窒素飽和している”とも云われている

・谷川岳一ノ倉沢での調査では、山頂部降雪雨と一ノ倉沢の窒素濃度はほぼ同一レベルにある(季節変動は著しい)ことが分かっている(本研究室)が、濃度は比較的高い(一ノ倉沢でMax 1.2mgN/l)

・群馬県西部の鏑川源流部(森林からの流出:人為汚濁無し)の窒素濃度は2mgN/lと霞ヶ浦の溶解性窒素濃度の10倍程度高い

・鏑川流域の降雨を多くの地点で年間測定したが、窒素濃度は2.5mg/l(年間加重平均)と著しく高く、鏑川源流部の高い窒素濃度は大気由来ではないか

・しかし尾瀬沼の降雨中窒素濃度は0.36mg/lと非常に低い値であり、首都圏から夏季に飛来する地上風が上流域森林流出水の高い窒素濃度である可能性も考える必要がある

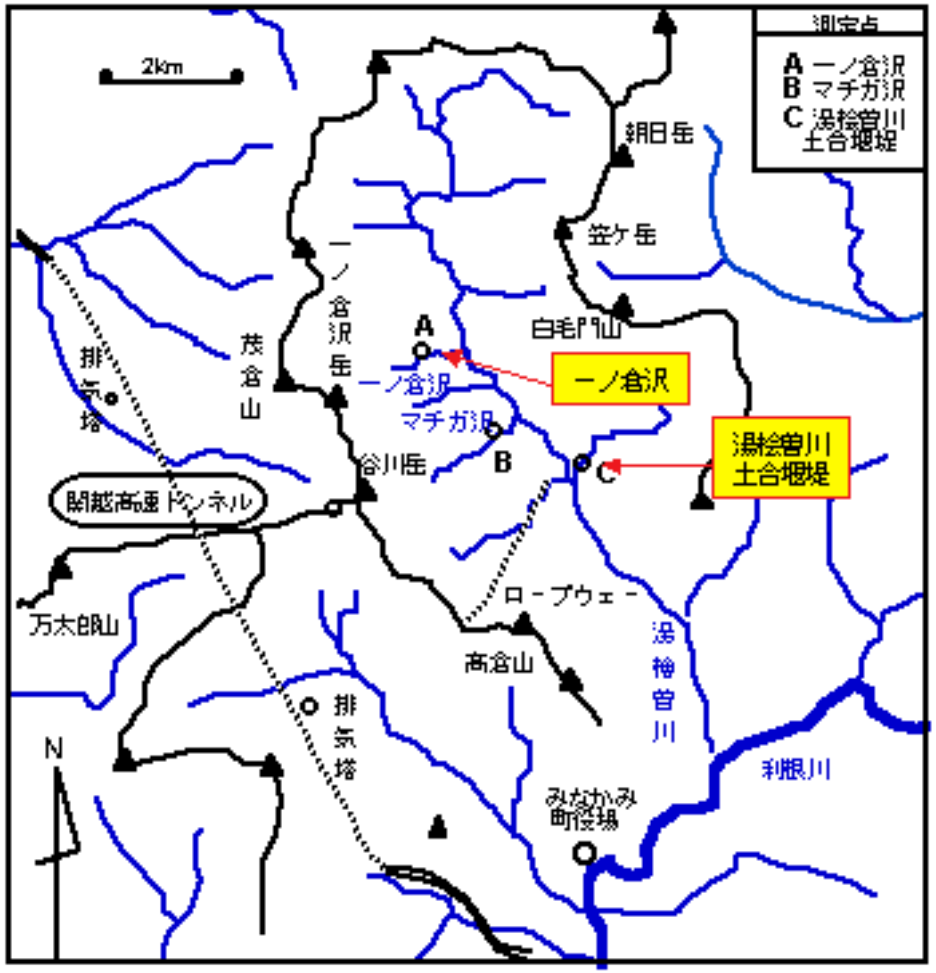
研究の目的

- **「源流水の高い窒素濃度は、首都圏から夏季に卓越して飛来する南東風(海風)に含まれている窒素化合物が、鏑川上空で降雨として降下してくることに由来」**
  という作業仮説を立てると現象はうまく説明できる

- この仮説を立証するために、谷川岳の新潟県側や越後山脈(三国山脈を含む:脊梁山脈)の日本海側や福島県側・群馬県北東部などで、沢水や雨水を採取し、同時期の谷川岳沢水・雨水との比較を行う

- 作業分担は、谷川岳、新潟県及び福島県側の沢水と谷川岳降雨は森　邦広、尾瀬沼の連続的な降雨と尾瀬周辺の沢水を平野太郎、その他の採水と水質分析は青井　透とした

- 烏川・鏑川水系の新しい調査地点として、倉渕村の烏川支流”相間川”と、碓氷川支流の支流の中木川(裏妙義)を選定し、流下に伴う窒素濃度を各季節測定し、標高および季節による窒素濃度の変化を検討するとともに、中木川では降雨も同時に測定し窒素収支を検討した



・一ノ倉沢は「クライマーズハイ(横山秀夫著)」の舞台ともなった日本三大岩場の一つで、かつて登山家のメッカであった
・湯檜曽川流域は馬蹄形をしており、ロープウェーより上流には、全く人為的な汚濁はない
・森　邦広は谷川岳登頂3000回をめざす鉄人であり冬季間の一ノ倉沢渓流水や年間を通して山頂部雨雪を採取・測定している
・湯檜曽川土合堰堤には、群馬高専青井研究室にて水位計を設置し、流量測定をしているので窒素流出量の算出が可能

一ノ倉沢夏季採水点写真

一ノ倉沢岩石帯は、この地点で森　邦広がほぼ通年で採水
しかし豪雪の年には5月まで採水不可能
上流部は殆どが岩石帯であり万年雪により初冬までは融雪水が流れる

一ノ倉沢樹林帯は右岸側から流出する沢水を採水している
融雪時期には徒渉しての採水は困難

一ノ倉沢冬季採水点写真

今年(2008)は積雪が少ないので冬季間も採水を実施したが豪雪の年には雪崩が多発し雪に埋没してしまうので、5月の連休明けまで採水はできないのが通例である

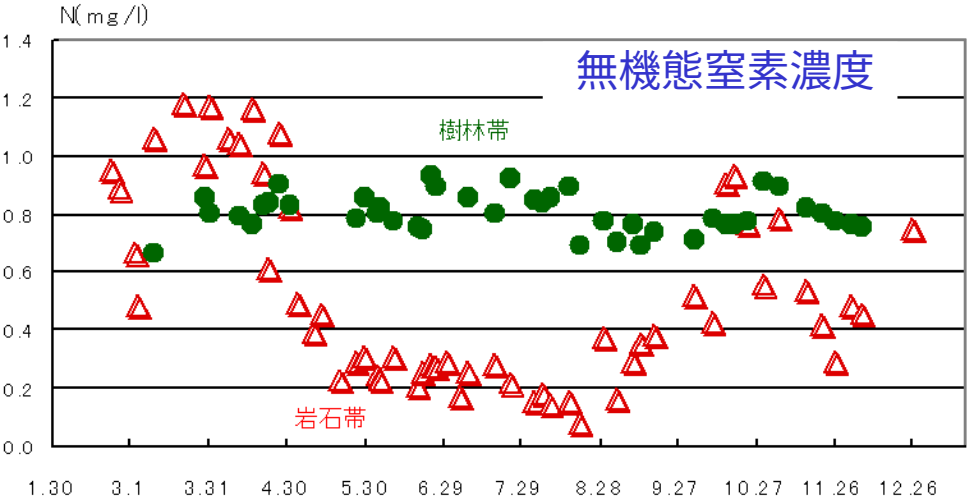
今年(2008)は積雪が少なかったので
森　邦広は冬季でも採水
従来、岩石帯を含めて一ノ倉沢の継続的な採水・分析はなされていない

一ノ倉沢岩石帯と樹林帯の窒素濃度の相違と2007年の年間変動

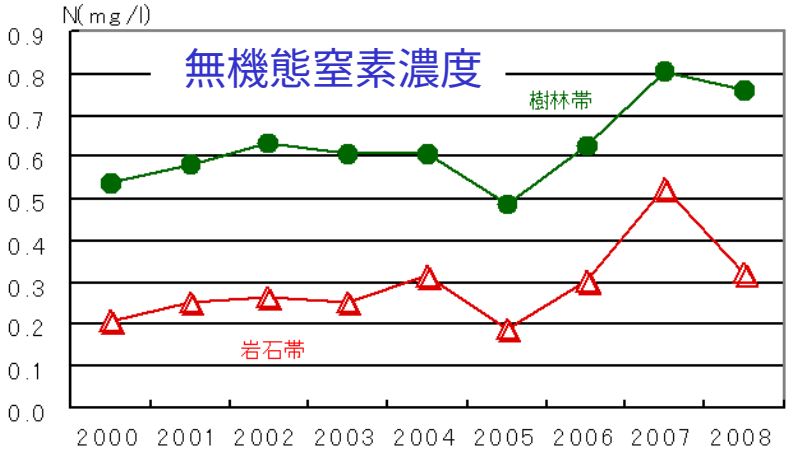
樹林帯の窒素濃度は、年間を通して高値安定しており、岩石帯は溶脱現象が典型的に見れる。融雪期の窒素濃度は1.2mg/lにも到達している。

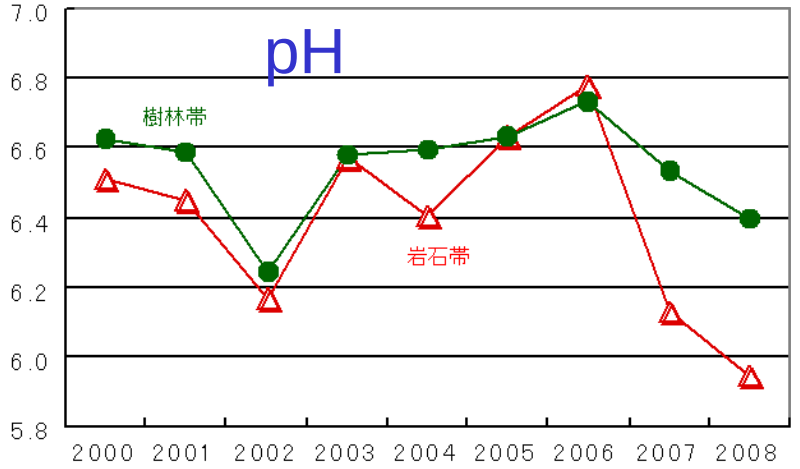
一ノ倉沢岩石帯・樹林帯年平均濃度の変化（2000～2008）

年	岩石帯			樹林帯			n
	pH	NH4-N	InorgN	pH	NH4-N	InorgN	
2000	6.51	0.00	0.21	6.62	0.01	0.54	25
2001	6.45	0.02	0.26	6.58	0.04	0.58	32
2002	6.16	0.02	0.26	6.24	0.02	0.63	24
2003	6.57	0.03	0.25	6.58	0.03	0.61	17
2004	6.41	0.03	0.32	6.59	0.03	0.61	22
2005	6.64	0.02	0.19	6.64	0.03	0.49	26
2006	6.78	0.02	0.31	6.73	0.02	0.63	16
2007	6.13	0.05	0.53	6.53	0.03	0.80	56
2008	5.95	0.03	0.32	6.39	0.02	0.76	36
平均値	6.40	0.03	**0.29**	6.55	0.03	**0.63**	



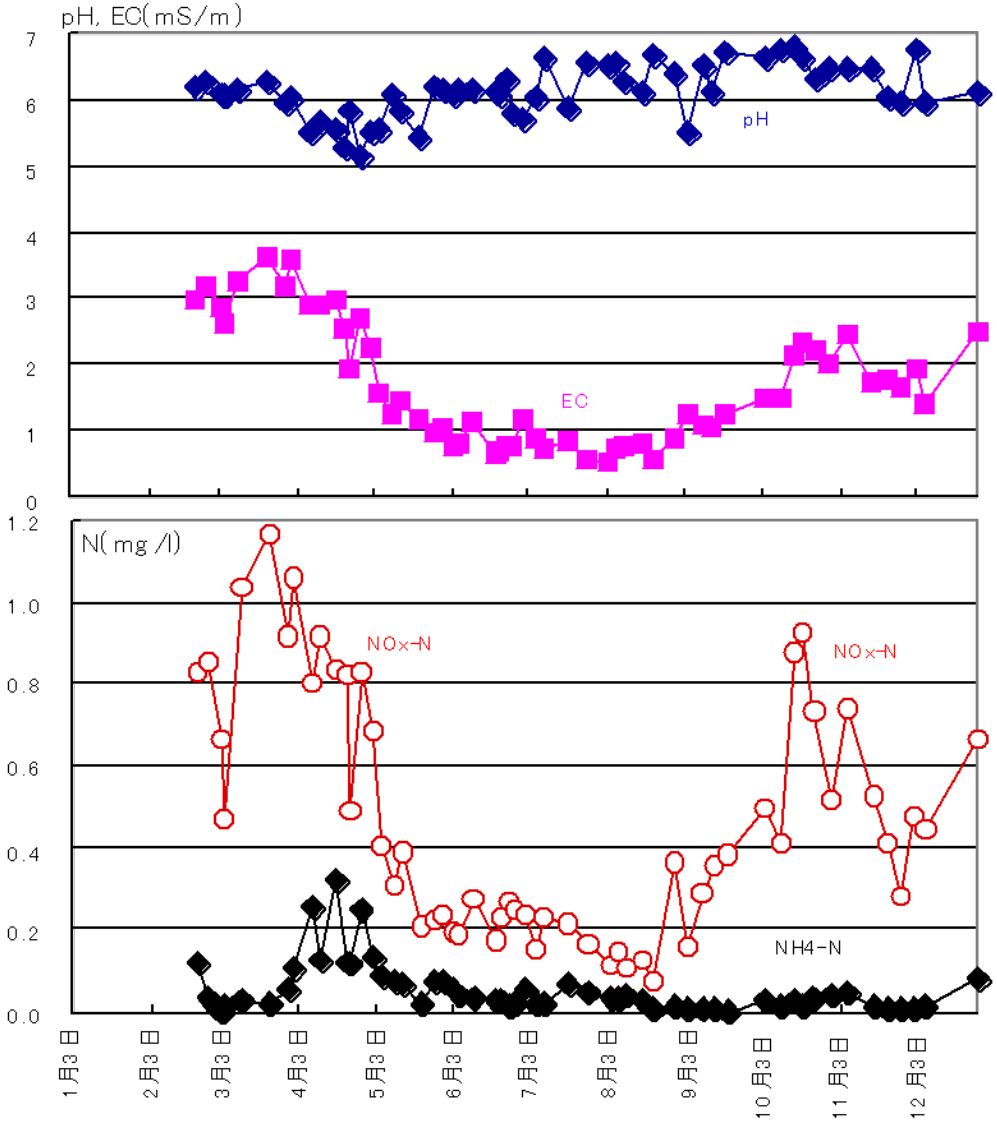
2007年一ノ倉沢樹林帯・岩石帯の無機態窒素濃度年変化



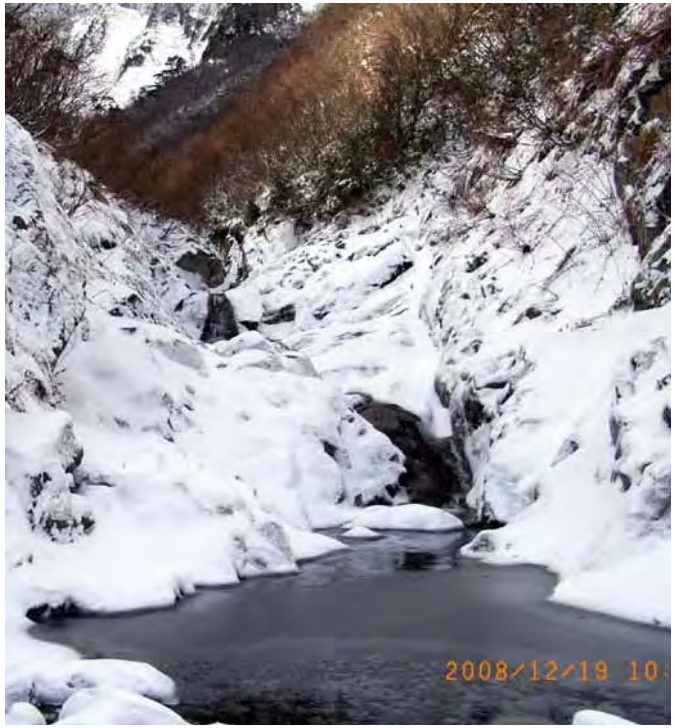


一ノ倉沢岩石帯と樹林帯各水質項目年変化

一ノ倉沢岩石帯渓流水のpH,EC及びNH4-N,NOx-N濃度年変化



2007年度は雪解け時期に採水が可能であつた
雪解けの開始時期にNH4-N濃度が上昇するのがはつきりとわかるが、採水を5月連休後から開始するとこの現象は確認できない



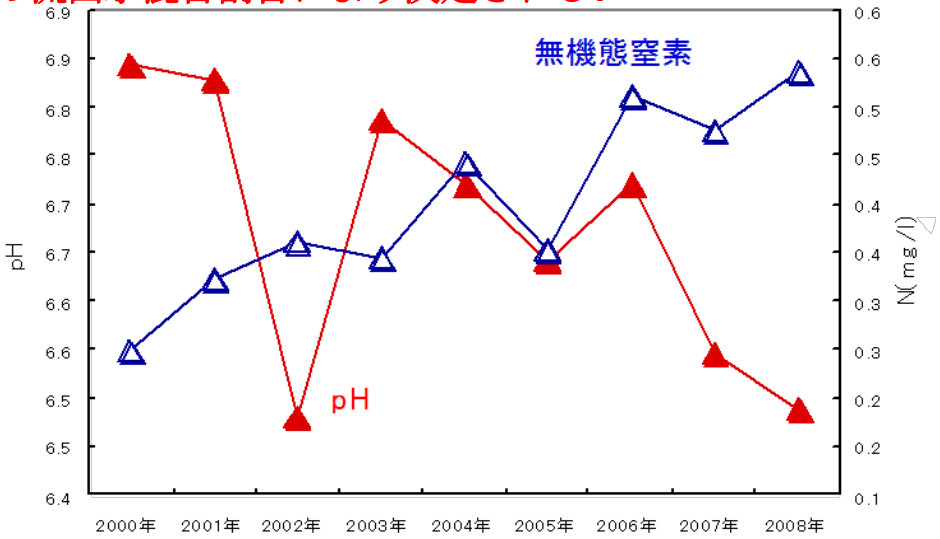
2007年一ノ倉沢岩石帯pH,EC, NH4-N, NO-N濃度変化

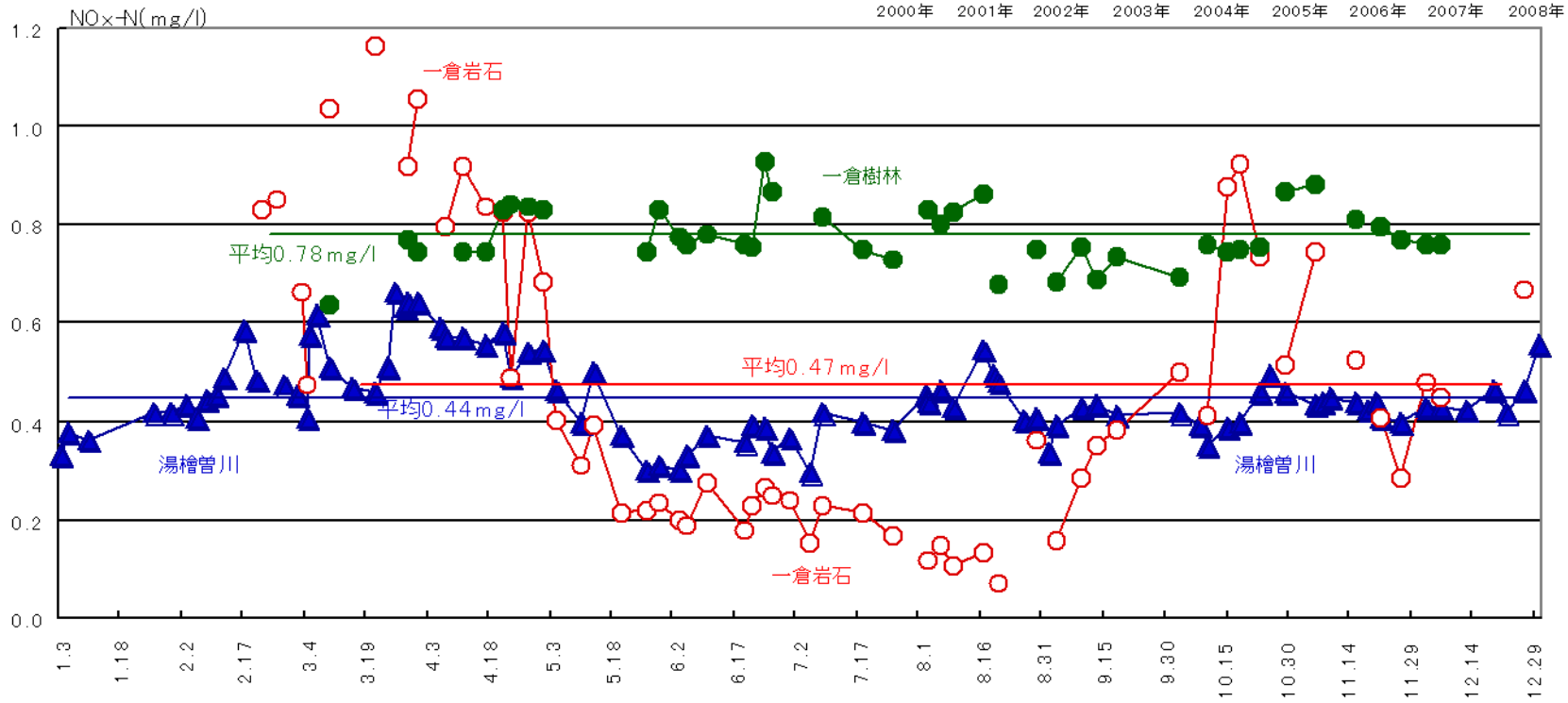
2007年湯檜曽川堰堤と一ノ倉沢各測定点のNOxN濃度経日変化

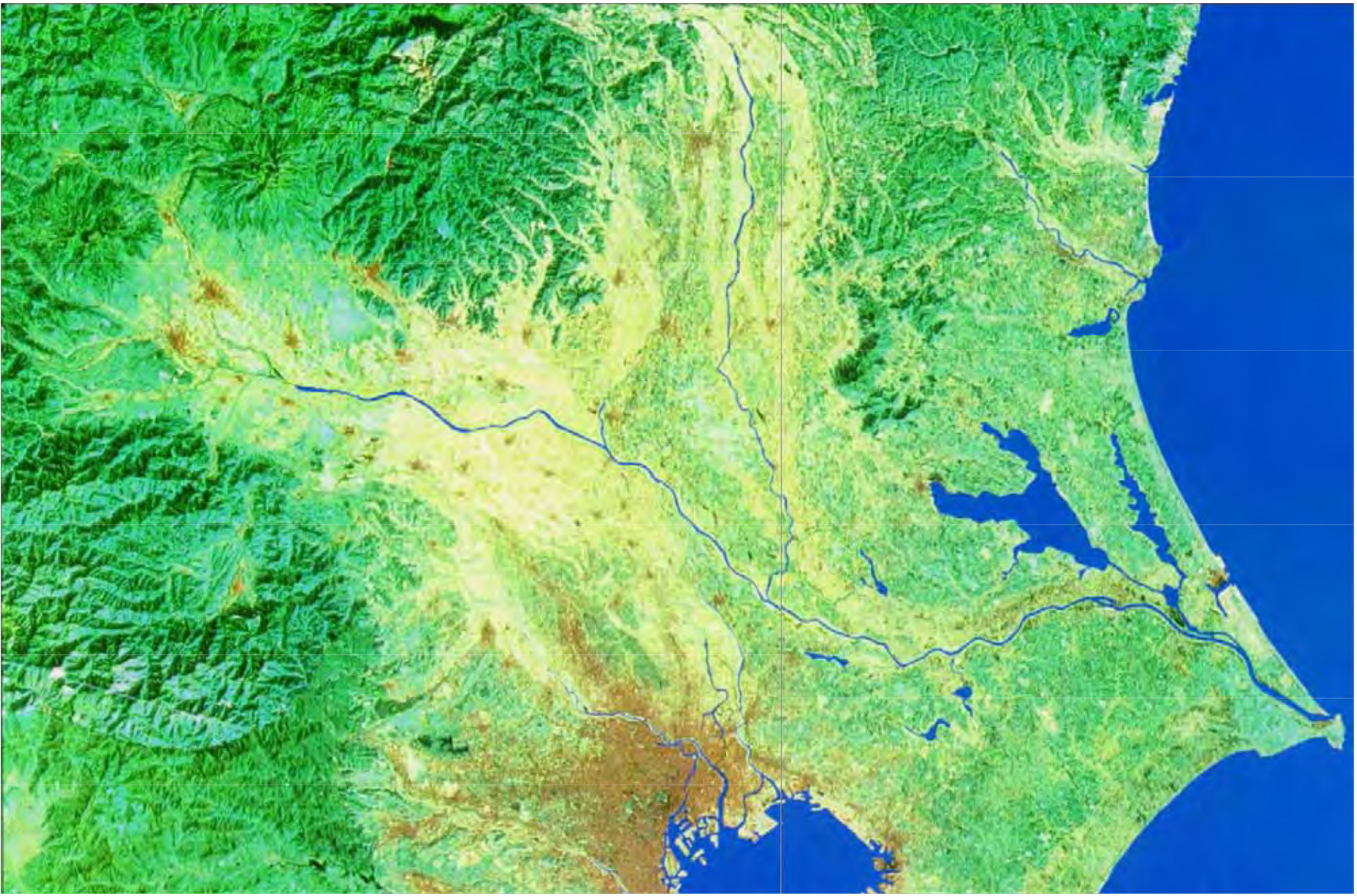
湯檜曽川の水質は、上流沢水の岩石帯と樹林帯の流出水混合割合により決定される?

最近9年間の湯桧曽川各測定点の年平均pH,無機態窒素濃度の変化

年	一ノ倉沢岩石帯			一ノ倉沢樹林帯		湯桧曽川土合堰堤		
	n	pH	InorgN	pH	InorgN	n	pH	InorgN
2000	25	6.51	0.21	6.62	0.54	5	6.84	0.25
2001	32	6.45	0.26	6.58	0.58	13	6.83	0.32
2002	24	6.16	0.26	6.24	0.63	27	6.48	0.36
2003	17	6.57	0.25	6.58	0.61	38	6.79	0.34
2004	22	6.41	0.32	6.59	0.61	65	6.72	0.44
2005	26	6.64	0.19	6.64	0.49	115	6.64	0.35
2006	16	6.78	0.31	6.73	0.63	64	6.72	0.51
2007	56	6.13	0.53	6.53	0.80	88	6.54	0.48
2008	36	5.95	0.32	6.40	0.76	77	6.49	0.54
平均値		**6.40**	**0.29**	**6.55**	**0.63**		**6.67**	**0.40**



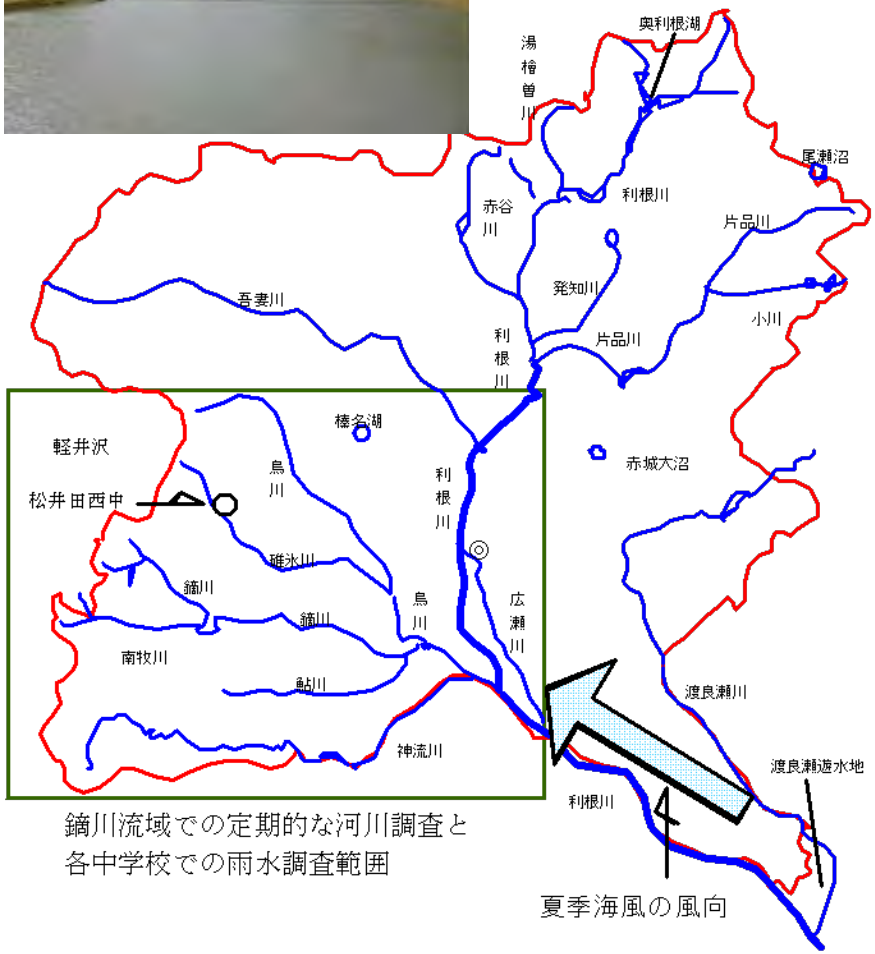




群馬県西部鏑川の窒素濃度測定結果概要

全く人為汚濁のない森林流出水の窒素濃度は1.64mg/l

この流域は降雨時に窒素濃度が上昇する



鏑川流域での定期的な河川調査と
各中学校での雨水調査範囲

図3　鏑川流域地図と河川及び雨水の調査範囲

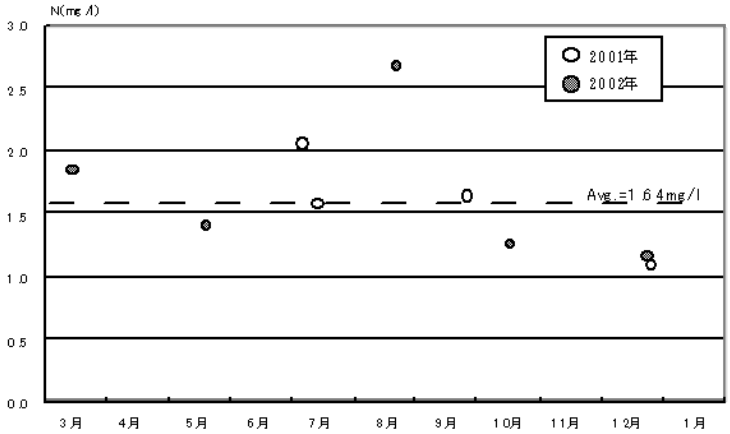


図5　鏑川最上流部/荒船湖入口無機態窒素濃度の季節変化

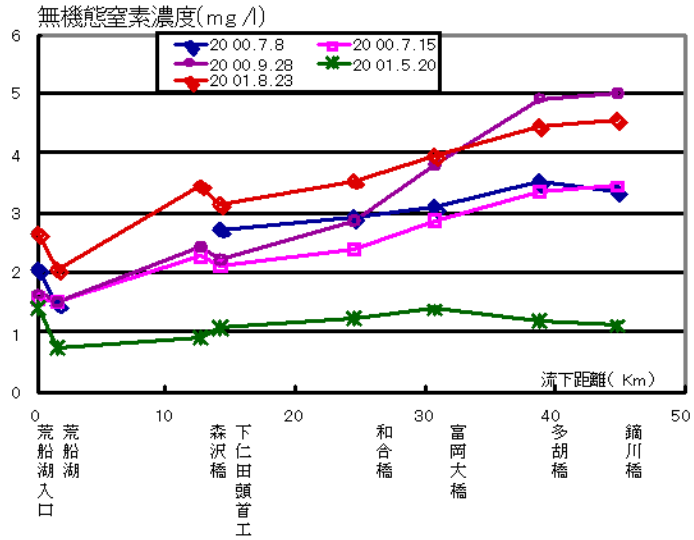
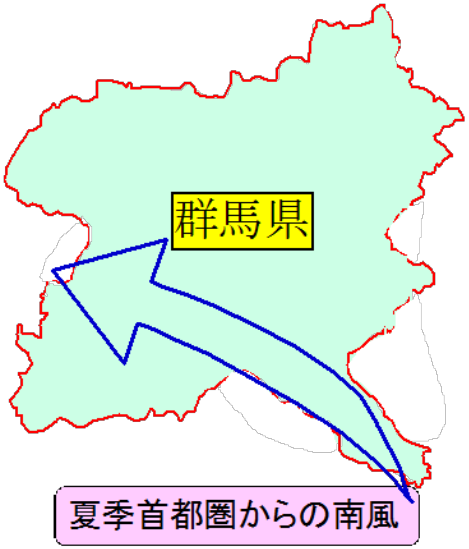


図4　鏑川流下方向各調査の無機態窒素濃度変化

鏑川流域の窒素降下量の季節変化

中学校での降雨通年調査と風向との関係



南風が吹くと
空から窒素が
降下する

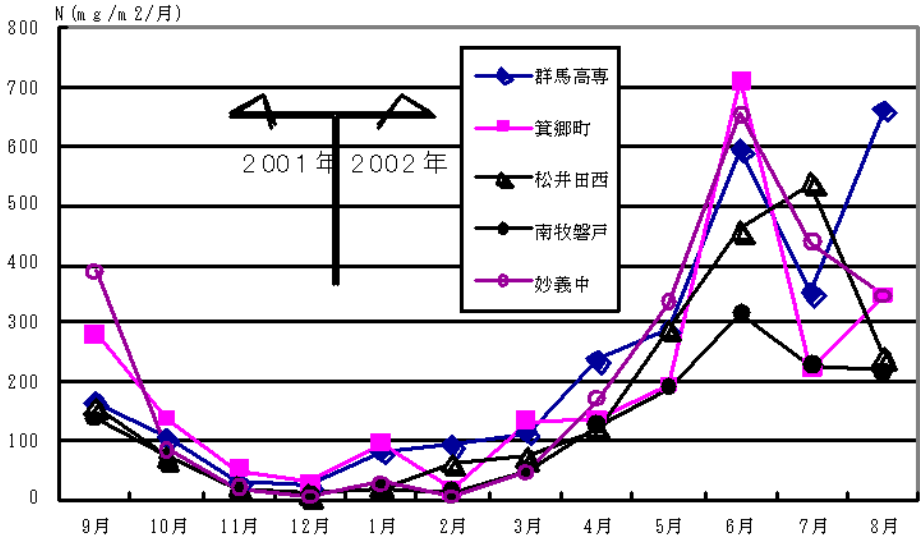
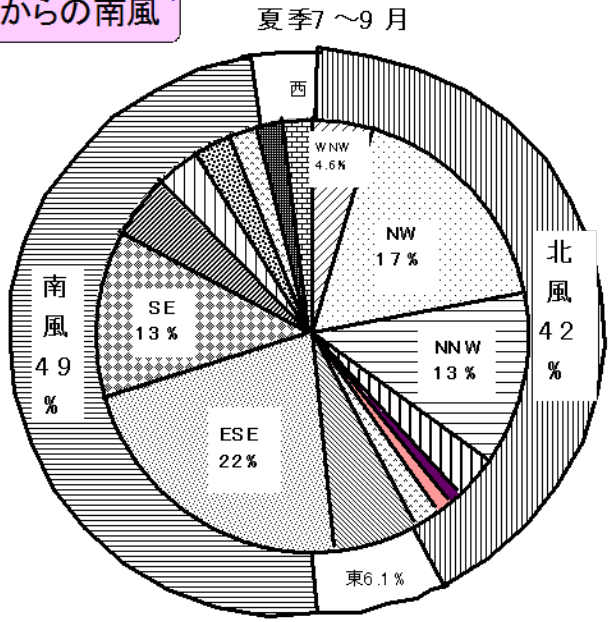


図6　群馬県西部5測点月別無機態窒素降下量の月変化



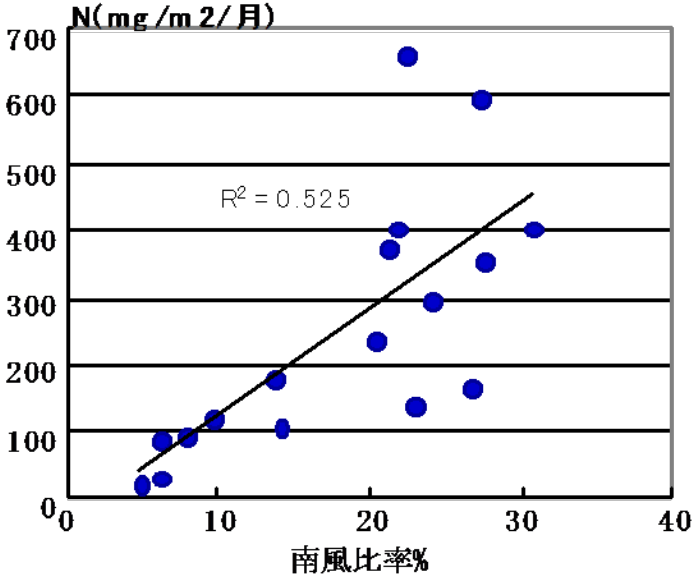


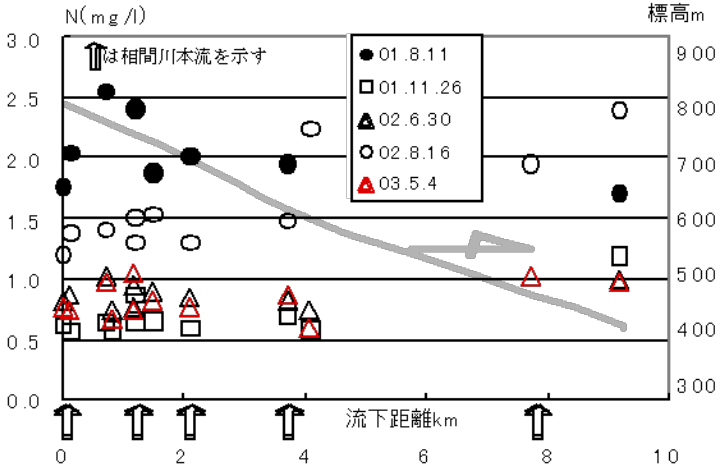
図7　前橋気象台各月南風比率と高専月別無機態窒素降下量の関係

相間川流域図と各採水地点、各季節無機態窒素濃度と倉渕中学での降雨中各態窒素降下量の変化

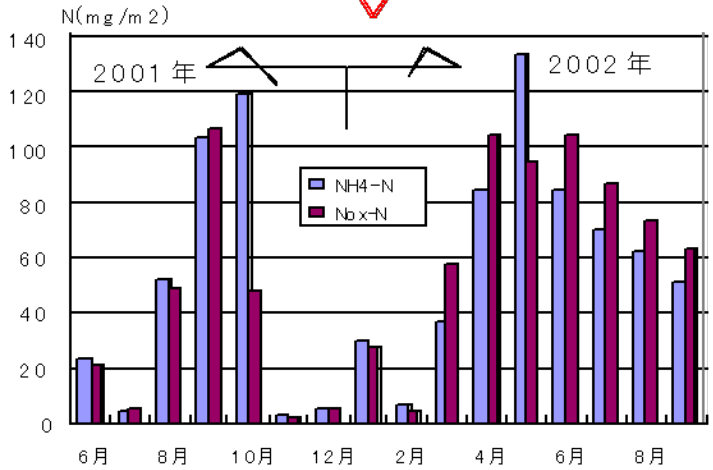
相間川は烏川支流で、上流部には一切人為汚濁は無い場所です

相間川上流部各季節の無機態窒素濃度の変化(2001.8->2003.5)

No.	採水点	km	01.8.11	01.11.26	02.6.30	02.8.1	03.5.4	標高m	備考
1	最上流	0	1.76	0.62	0.82	1.20	0.76	785	相間川
2	横支流	0.1	2.05	0.55	0.86	1.38	0.74	785	
3	沢水大(左岸)	0.7	2.55	0.63	1.02	1.39	0.96		
4	右岸小滝	0.8		0.58	0.73		0.67		
5	**本川**	1.2		0.66	0.76	1.29	0.73		相間川
6	沢水大(左岸)	1.2	2.41	0.87	0.95	1.51	1.04		
7	沢水大(左岸)	1.5	1.87	0.65	0.87	1.53	0.82		
8	**本流橋**	2.1	2.00	0.59	0.84	1.29	0.76	690	相間川
9	**三ツ丸橋**	3.7	1.94	0.69	0.80	1.47	0.85	610	相間川
10	左岸滝	4.1		0.57	0.72	2.24	0.58		
11	上相間川橋	7.7				1.95	1.02	480	相間川
12	烏川橋下流100m	9.2	1.69	1.18	0.99	2.38	0.97	420	烏川本流



相間川各季節の無機態窒素濃度・標高の流下方向変化



倉淵中2001-2002年各態窒素月別降下量の変化

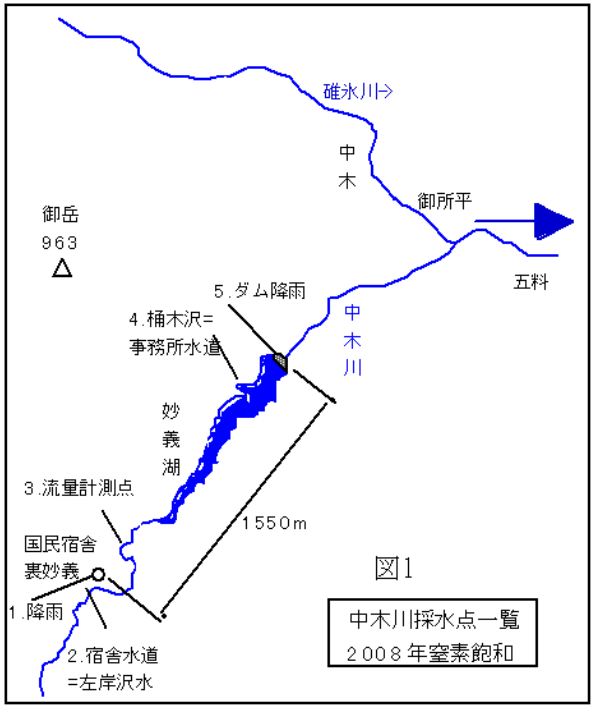
烏川水系碓氷川の支流中木川調査

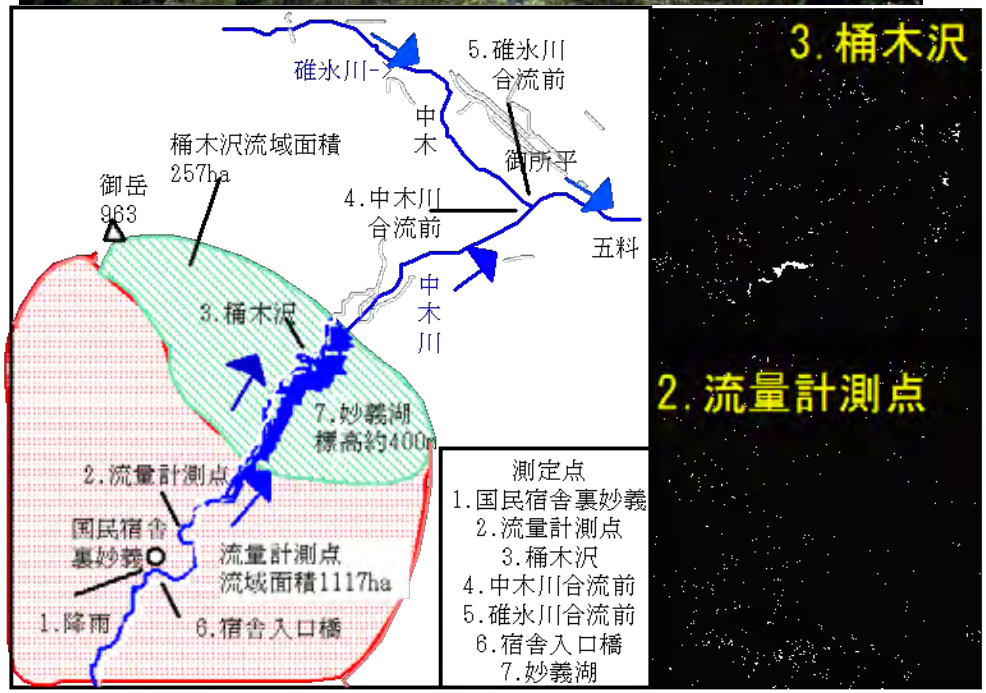
調査地点として、渓流水・河川水3地点
降雨については2地点(距離は1550m)

測定項目は、pH, EC, 各態窒素、各態リン、降雨量、河川流量(安中市水道局より受領)

雨水サンプラは常設式なので、降雨試料はバルク試料に該当する

下流側から眺めた裏妙義の山々





裏妙義・中木川流域の採水地点と流域面積

中木川沢水・河川水窒素濃度測定値のまとめ

平野部に近い下流部の桶木沢沢水の無機態窒素濃度は平均2.65mg/lであり、森林流出水としては異例に高い

国民宿舎横の沢水水質と、中木川の窒素濃度はほぼ同様であり、桶木沢の窒素濃度を上回ることは、同一測定日には一度もなかった

中木川流量計測点堰堤

表1　08年7月～12月各沢水・河川測定点の平均水質

測定場所	EC mS/m	pH	NH_4-N mg/l	NOx-N mg/l	Inorg-N mg/l
国民宿舎横沢	10.4	7.24	0.02	1.54	1.56
中木川計測点	10.6	7.27	0.02	1.50	1.51
桶木沢	7.2	7.19	0.01	1.97	1.97

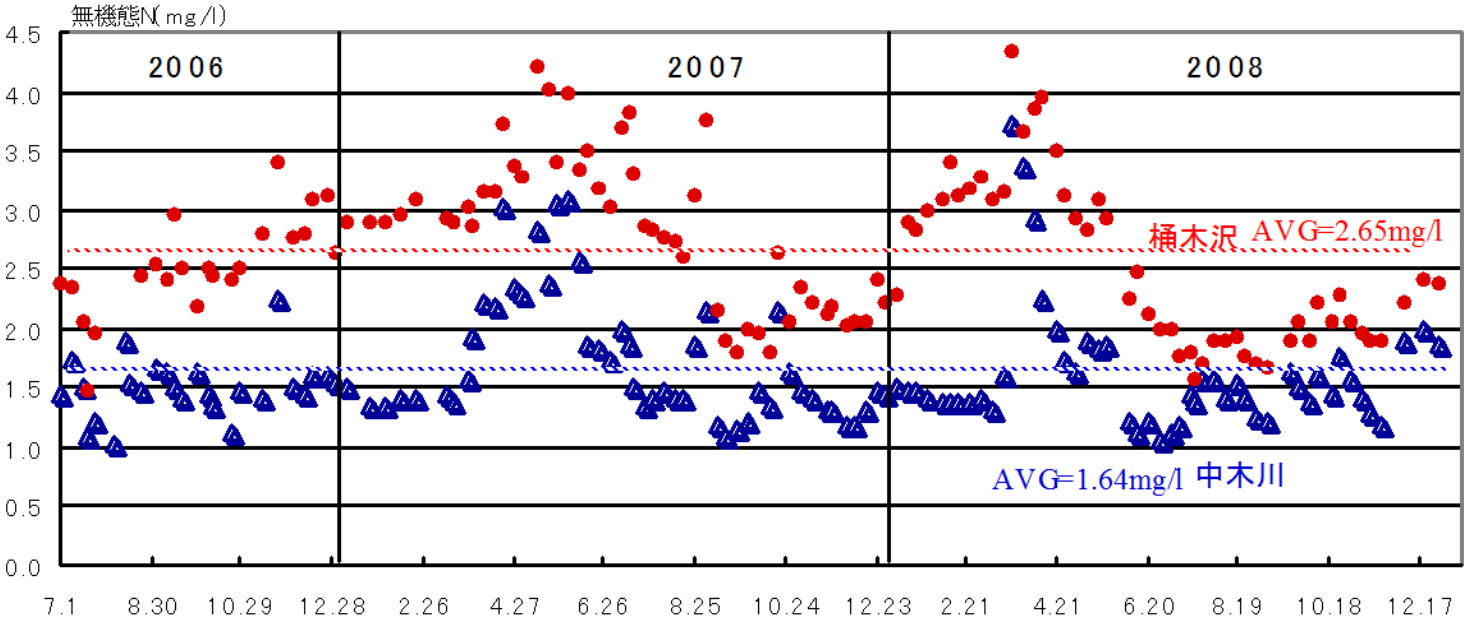


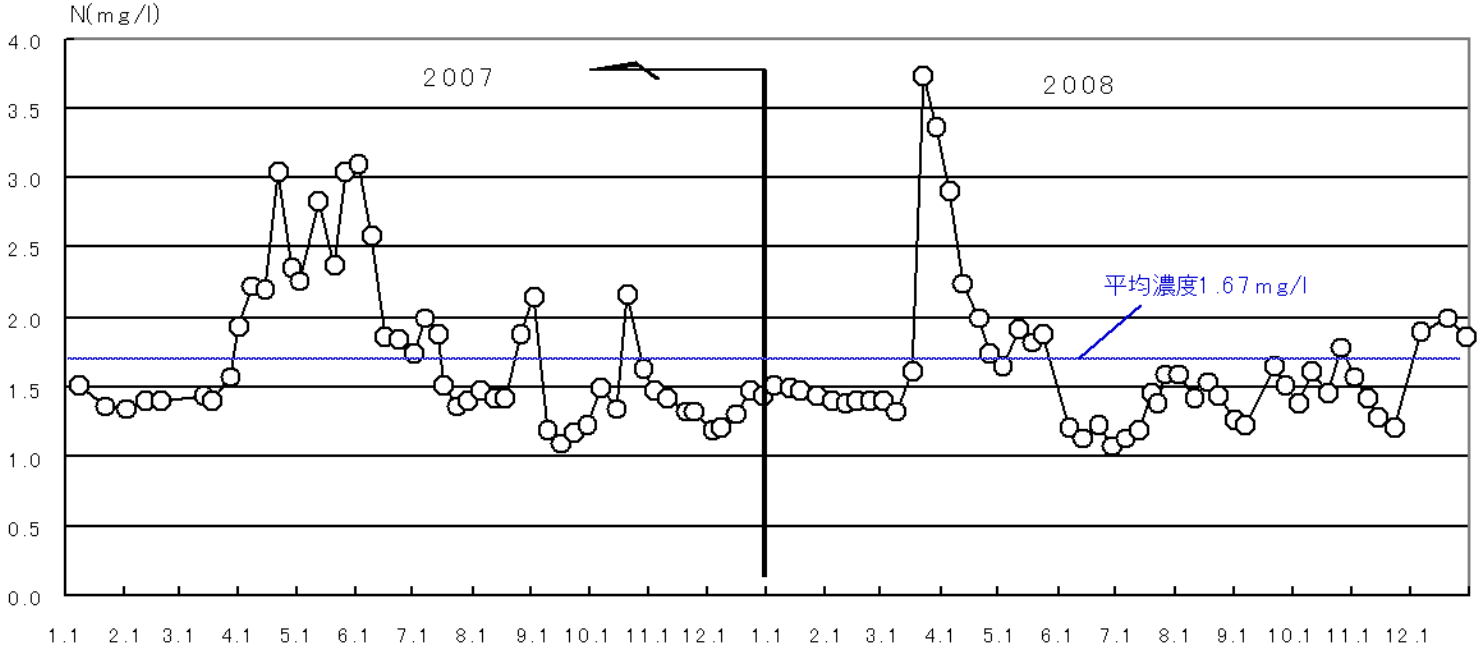
図2　2006->8年裏妙義各測定点無機態窒素濃度経日変化

窒素飽和現象の観点では

Stoddardの窒素飽和現象の区分

Stage-0	冬季にNOx-Nが高いときがあるがピークでもその濃度は降雨レベル
Stage-1	夏季にNOx-N濃度は低下するが0近くになる期間は短い、冬季にピーク濃度上昇
Stage-2	NOx-N濃度に季節変化が見られない
Stage-3	NOx-N濃度に季節変化が見られない上、濃度が降雨のレベルを上回る、その結果流出量が上回る

Stage-3に近いのではないか



中木川計測点2007-2008年無機態窒素濃度の経日変化

2008年測定結果からの中木川窒素降下量・窒素流出量計算

平野部(夏季首都圏からの地上風の通り道)に近い下流部の窒素降下量は27kgN/haYで窒素飽和現象が起こるとされる値である

河川からの窒素流出量は、窒素降下量の**1.5**倍であり、**Stoddard**の区分では**Stage-3**になるのではないか

但し本測定での窒素降下量はバルクであるために、乾性降下量の上乗せが考えられるため、更なる検討が必要である

裏妙義・中木川流域の2008年年間窒素降下量と窒素流出量比較

項目	単位	上流部	下流部	合計
窒素降下量	Nkg/年	21793	6869	28662
窒素流出量	Nkg/年	33691	10077	43768
流域面積	ha	1117	257	1374
ha当り年間窒素降下量	Nkg/ha/年	19.5	26.7	20.9
ha当り年間窒素流出量	Nkg/ha/年	30.2	39.2	31.9
平均降雨窒素濃度	Nmg/l	1.08	1.31	
平均河川窒素濃度	Nmg/l	1.62	2.51	

ここで検討した窒素は無機態窒素である、窒素流出量/窒素降下量=1.5倍

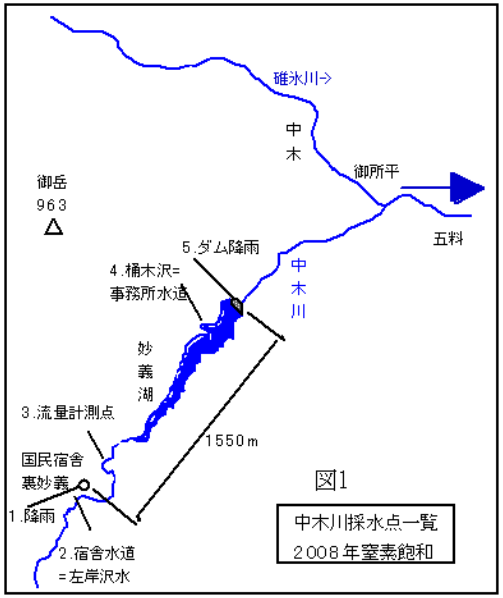


図1

中木川採水点一覧
2008年窒素飽和

38°
新潟
福島
石川
富山
群馬
栃木
茨城
長野
埼玉
山梨
岐阜
東京
千葉
神奈川
静岡
愛知

尾瀬沼の降雨・沼水質調査　尾瀬長蔵小屋実施(2002-2003)

降雨中窒素濃度は低く、高層大気の影響のみのバックグラウンド値と思われる

年月	EC	pH	NH4-N	NO2-N	NOx-N	Inorg N	降雨量
	mS/m			mg/l			mm
02年8月	1.52	3.87	0.21	0.00	0.31	0.52	118
9月	1.62	4.63	0.14	0.02	0.24	0.38	83
10月	1.06	5.03	0.09	0.07	0.31	0.40	112
03年5月	1.31	4.90	0.26	0.14	0.62	0.88	33
6月	1.27	5.02	0.17	0.01	0.36	0.53	100
7月	0.94	5.13	0.10	0.00	0.23	0.33	169
8月	0.74	5.23	0.09	0.00	0.18	0.27	218
9月	0.69	5.59	0.01	0.00	0.11	0.12	83
10月	0.79	5.96	0.01	0.00	0.09	0.11	37
加重平均	1.06	5.00	0.12	0.02	0.25	0.36	953

注記:InorgN=NH4-N+Nox-N

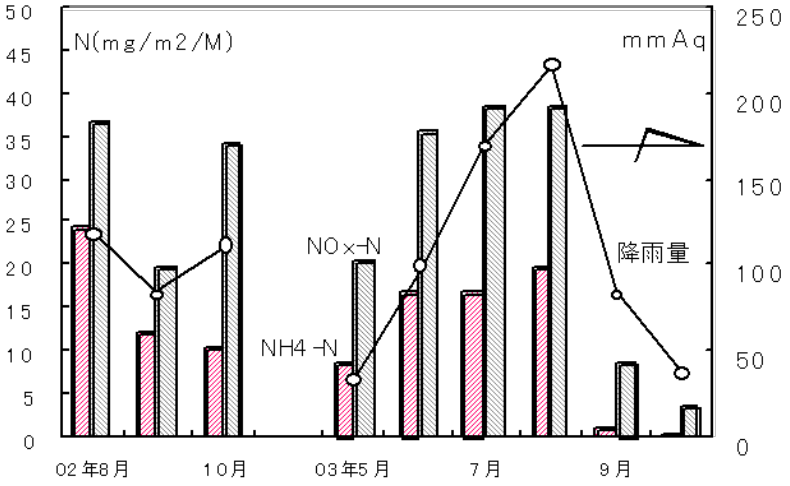


図12　尾瀬沼降雨中各態窒素降下量と降雨量月変化

表2　2001年尾瀬沼水質の月変化

採水点	採水日	pH	EC	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	T-N
			mS/m		mg/l		mg/l	mg/l
尾瀬沼桟橋	5/23	6.63	2.8	0.03	0.004	0.27	0.30	0.38
尾瀬沼桟橋	7/3	7.18	1.5	0.09	0.002	0.04	0.13	0.25
尾瀬沼尻桟橋	7/8	7.07	2.0	0.03	0.001	0.00	0.03	0.31
尾瀬沼桟橋	7/30	7.14	4	0.00	0	0.00	0.00	0.16

採水年は2001年、採水者は平野、InorgNとは無機態窒素を示しNH4-NとNOx-Nの和である

尾瀬沼周辺渓流水と尾瀬ケ原登山口(鳩待峠)周辺渓流水水質

群馬県内でもこの地域は渓流水窒素濃度は極めて低い

表7　尾瀬沼周辺沢水水質(2001年から2002年)

採水地点	pH	EC	NH4-N	NO2-N	NOx-N	Inorg N	採水月日	備考
尾瀬沼	6.93	2.91	0.031	0.002	0.05	0.08	6回平均	01.5->02.9
大江川	7.30	4.06	0.020	0.002	0.25	0.27	4回平均	01.5->01.7
岩清水	7.12	3.36	0.009	0.001	0.08	0.08	4回平均	01.5->02.9
冬路沢	6.18	3.18	0.008	0.001	0.12	0.13	3回平均	02.8->02.11
柳沢	6.76	3.33	0.003	0.000	0.06	0.07	2回平均	02.8->02.9
大清水	6.48	3.72	0.009	0.002	0.15	0.16	4回平均	02.5->02.11
平均	6.79	3.43	0.013	0.001	0.12	0.13		

採水地点	pH	EC	NH4-N	NO2-N	NOx-N	Inorg N	採水日	備考
硫黄沢	7.09	4.47	0.016	0.001	0.11	0.13	2回平均	富士見峠下
笠科川	6.39	3.75	0.014	0.001	0.05	0.07	2回平均	ナメ沢
照葉峡	6.49	3.50	0.017	0.001	0.05	0.07	2回平均	沢の小屋沢水
平均	6.66	3.90	0.015	0.001	0.07	0.09		
マチガ沢樹林帯	6.16	1.68	0.016	0.001	0.56	0.58	8月平均	n=4
マチガ沢樹林帯	6.37	2.74	0.033	0.000	0.62	0.66	10月平均	n=3

谷川岳・三国山脈の新潟側渓流水水質(採水は森　邦広)

谷川岳の北斜面(新潟側)は南斜面(群馬側)と比較して1/2～1/3に濃度低下する

採水点	pH	EC	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	採水時期	備考
毛渡沢1号ダム	6.74	1.89	0.005	0.002	0.20	0.21	6.16	土樽駅900m手前
蓮沢2号ダム	7.14	3.81	0.005	0.002	0.19	0.20	6.16	関越トンネル土樽側
黒金沢平均	6.55	1.63	0.013	0.002	0.16	0.17	6.16	4検体
大源太沢	6.19	2.57	0.069	0.002	0.25	0.32	11.17	湯沢町
蓬沢	6.13	2.92	0.190	0.008	0.50	0.69	11.17	湯沢町
毛渡沢	6.12	2.49	0.059	0.003	0.22	0.28	11.17	湯沢町
平均	6.48	2.55	0.057	0.003	0.25	0.31		
マチガ沢樹林帯	6.70	2.23	0.015	0.002	0.50	0.51	6月平均	n=5
マチガ沢樹林帯	6.50	2.62	0.009	0.002	0.59	0.60	11月平均	n=2

採水点	pH	EC	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	採水時期	備考
登川上流	6.10	2.60	0.040	0.005	0.20	0.24	11.17	塩沢町
二子沢	6.08	2.47	0.030	0.001	0.15	0.18	11.17	登川支流
野中沢	6.21	3.49	0.030	0.002	0.38	0.41	11.17	六日町
五十沢川	6.23	2.69	0.040	0.003	0.21	0.25	11.17	六日町
平均	6.16	2.81	0.035	0.003	0.24	0.27		

谷川岳・三国山脈の福島側渓流水水質(採水は森　邦広)

尾瀬の福島側では、渓流水窒素濃度は激減する

表5　2002年　浅草岳新潟側(入広瀬村)沢水平均水質

採水点	pH	EC	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	採水時期	備考
柿の木川	6.9	4.06	0.060	0.005	0.14	0.2	3回平均	
谷止め(前堤)	6.78	3.30	0.020	0.002	0.15	0.17	3回平均	末沢川
鳥越橋上流	6.81	2.51	0.020	0.002	0.14	0.16	3回平均	末沢川
横倉橋	6.81	2.51	0.020	0.002	0.14	0.16	3回平均	
平均	6.83	3.10	0.030	0.003	0.14	0.17		

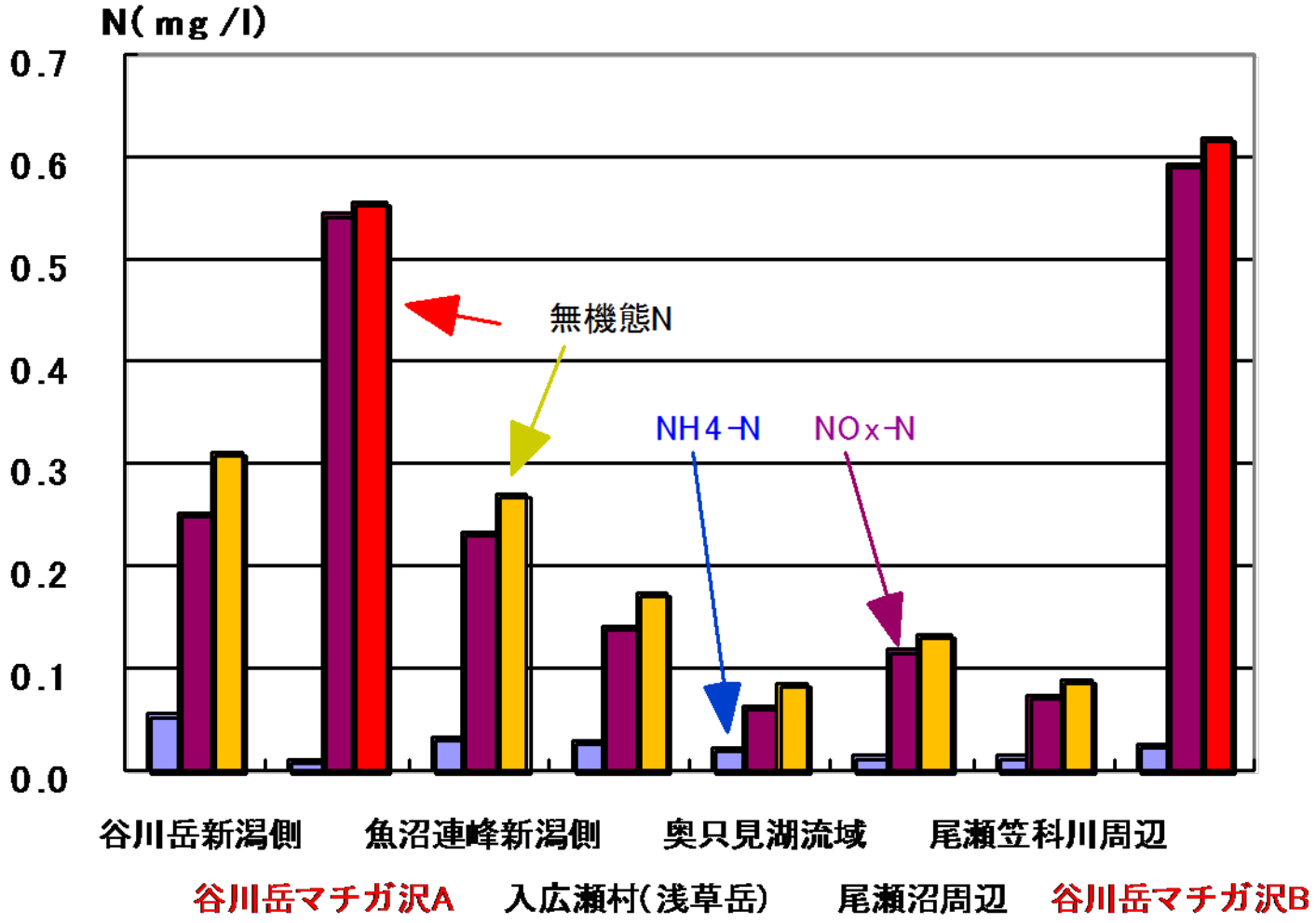
注記:採水時期は、2002年5/21, 6/27, 9/26

表6　2002年　只見町・檜枝岐村・湯之谷村の只見川水系沢水平均水質

採水場所	pH	EC	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	採水時期	備考
只見沢(只見町)	6.94	2.40	0.033	0.002	0.10	0.13	3回平均	田子倉無料休憩所脇
滝沢・会津駒登山口	7.11	2.71	0.018	0.002	0.04	0.05	2回平均	檜枝岐村
金泉橋(鷹の巣)	7.19	6.65	0.020	0.003	0.06	0.08	2回平均	湯之谷村
滝の沢(鷹の巣)	7.01	2.62	0.016	0.002	0.05	0.06	2回平均	湯之谷村
高岩沢	7.19	2.95	0.020	0.004	0.06	0.08	2回平均	湯之谷村
原沢	7.20	3.01	0.030	0.001	0.05	0.08	2回平均	湯之谷村
平石沢	7.11	1.97	0.021	0.002	0.09	0.11	2回平均	湯之谷村
平均	7.11	3.19	0.023	0.002	0.06	0.08		

備考2回平均は、6/27,9/26日の採水平均値、3回平均は加えて5/21日の平均値

谷川岳周辺渓流水の窒素濃度比較



2002年各測定点平均無機態窒素濃度比較(表3～表8のまとめ)

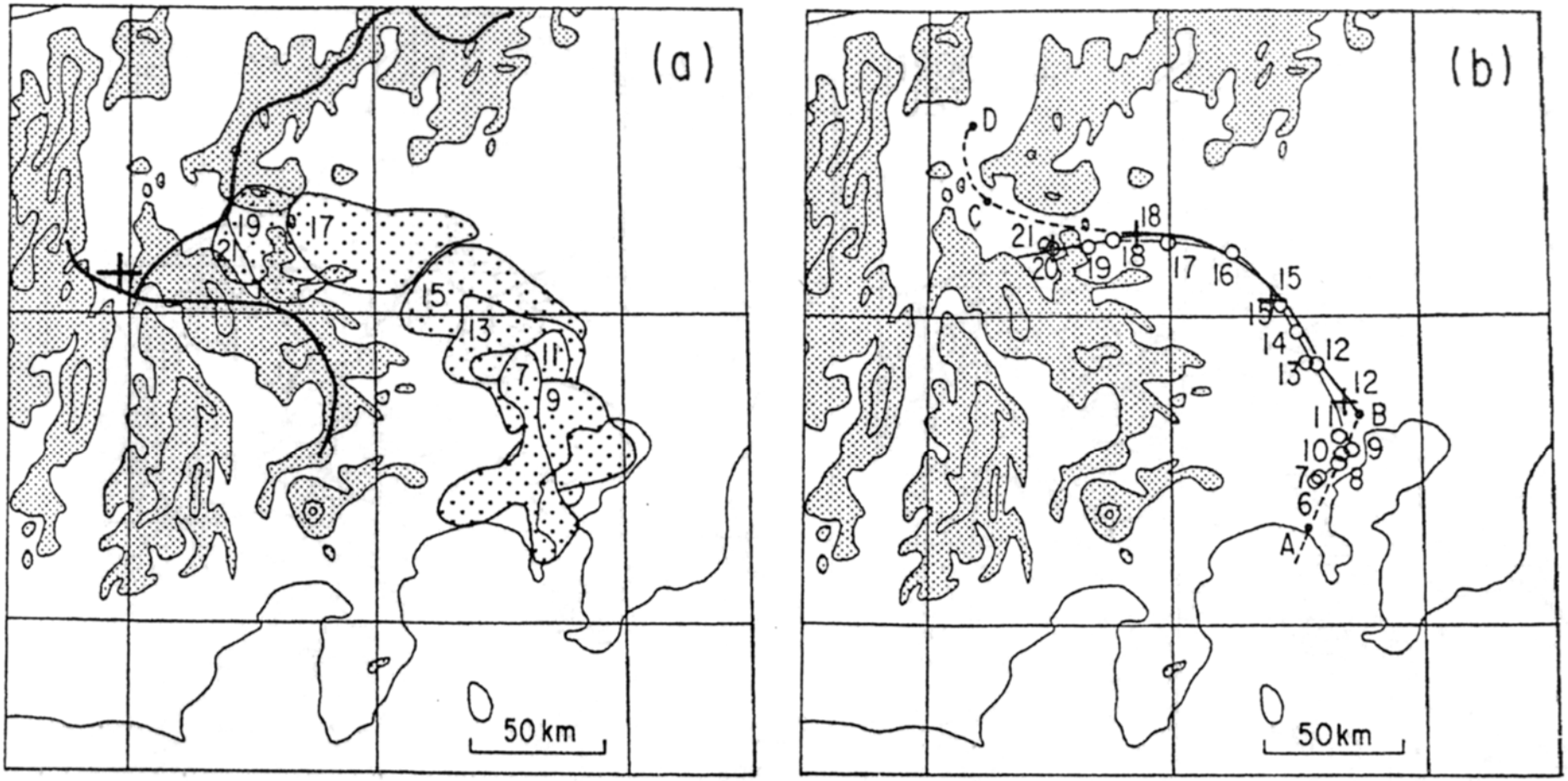


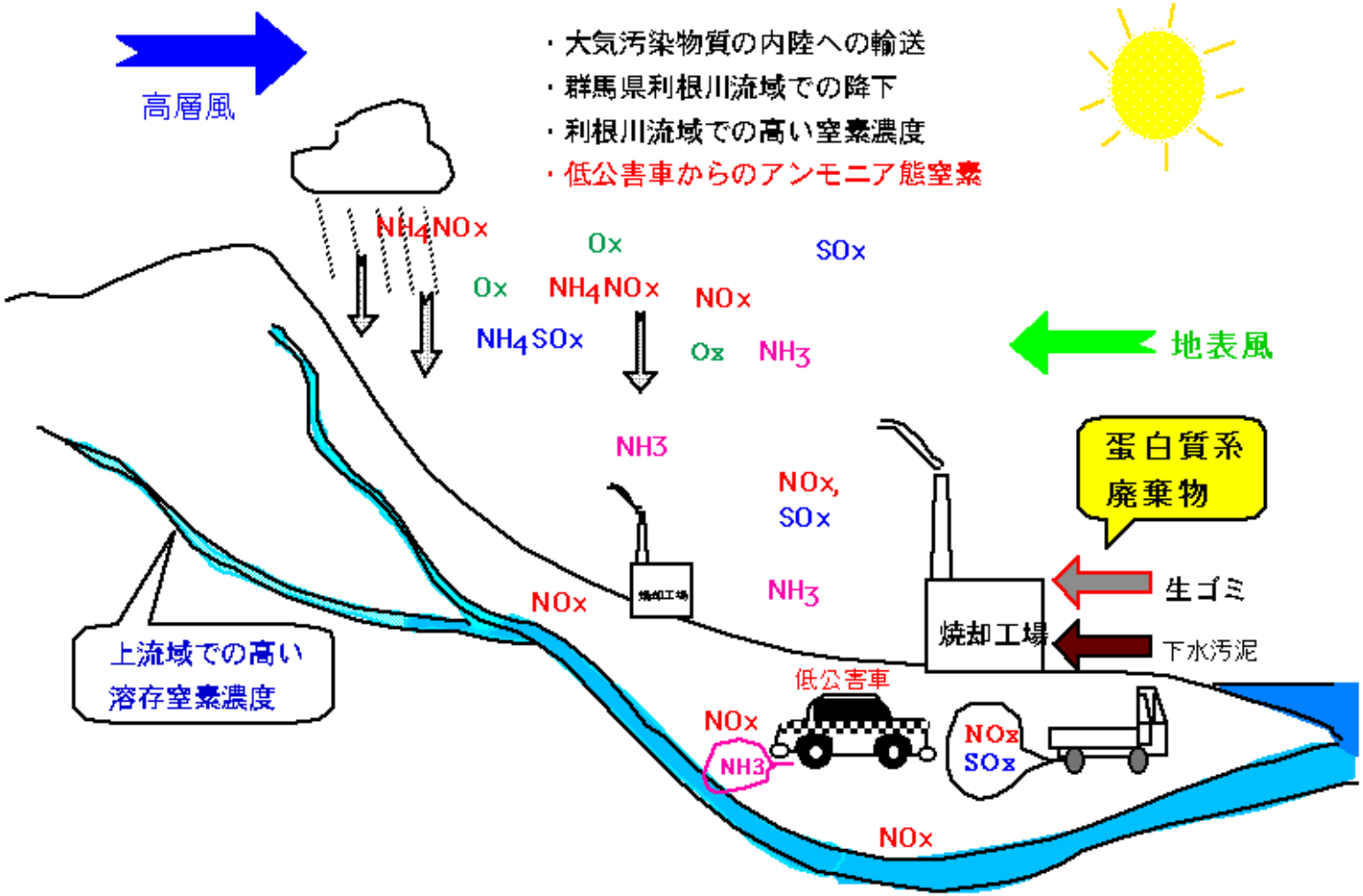
Fig. 2. Trajectory of the polluted air mass on 29 July 1983. Numbers denotes time(JST). (a) Movement of high concentration zone of O_X+NO_X (the area of zone is about 1600 km²). (b) Path of the center of O_X+NO_X high concentration zone (—○—) and air trajectory at the altitude of 100 m starting at Tokyo at 1200 JST (—+—). A, Kamakura; B, Tokyo; C, Ueda; D, Nagano.

1983年7月29日、光化学スモッグの中心点の移動と地上100mの大気の移動

大気汚染学会誌(栗田等、長野県衛生公害研究所)

河川最上流は、大気環境と水環境の接点

首都圏から夏季に卓越して飛来する海風(地上風)には様々な窒素化合物が含まれるが、群馬長野県境の峠までに降雨として降下し河川源流域の窒素濃度を押し上げるのでは－－－－作業仮説



まとめ

- 烏川支流相間川最上流部の窒素濃度も夏季には著しく高く1.5～2.5mgN/lに達したが秋から春は比較的低く(0.6～1.0mgN/l)、鏑川最上流と同様の傾向であった

- 碓氷川水系中木川(裏妙義)の窒素濃度は、年間を通して1.7mg/l(支流沢水は2.7mg/l)と同様に高く、季節変動は観測されなかった(Stoddardの区分でStage-3ではないか)

- 谷川岳一ノ倉沢の岩石帯と樹林帯窒素濃度の長期調査では、平均窒素濃度はそれぞれ0.29mg/l, 0.63mg/lと樹林帯のほうが二倍高い濃度を示し年間の変動は見られなかった

- 尾瀬沼降雨の加重平均濃度0.36mg/lと雪解け時尾瀬沼の無機態窒素濃度0.3mg/lは概ね一致し、降雨中窒素濃度が湖沼水質を基本的に決定していることが確認された

- 各源流部樹林帯沢水の窒素濃度を、谷川岳マチガ沢の濃度と比較すると同一季節で谷川岳の新潟側では1/2に低減したが、遠ざかるにつれてさらに低減し、福島県奥只見では1/5程度(<0.1mg/l)と極めて低い濃度となることがわかった

- これらの調査結果は、すべて提案した作業仮説を裏付けていることから、三国山脈周辺及び群馬県内源流部沢水の窒素濃度は、首都圏から飛来する地上風の到達度合いの違いにより、決定されていると思われる