

Tree growth and soil acidification in response to 30 years of experimental nitrogen loading on boreal forest

**～北方林への30年間にわたる窒素負荷実験に
対する樹木の成長や土壌酸性化～**

Global Change Biology (2006)

HÖGBERG et al.

Intro

- 化石燃料の大量消費やN肥料の利用によりN沈着は増加！
 - 低レベルのN沈着 樹木の成長を促進
 - 高レベルのN沈着 樹木の成長低下、枯死
- (細根量の減少, BC (塩基性陽イオン) の溶脱
樹木: BC欠乏

Intro

- 多くの研究は数年間の実験 (長期間は稀)
短期間での大量のN負荷 低量で長期間
- 窒素負荷の中断
土壌中の無機態N量の低下、NO₃-の流出減

スプルーエス林

細根量増 (10年間)

(Lamers-dorf and Borken. 2004)

目的

- 樹木の成長には窒素負荷の割合とNの投与量(総量)のどちらが重要か？
- N負荷された森林では何が樹木の成長の衰退を引き起こすのか？
- 窒素負荷を中止した後、BCや土壌pHはどれくらいで回復するか？

Matemetho

- 試験地 : Sweden中部 海拔260m
- 土壌 : Haplic Podozol (酸性土壌)
- 平均気温 : 1.2
- 降水量 : 595mm
- 残雪期間 : 10月末から5月初旬
- 1953年に2年生のScots Pine (*Pinus sylvenstris*)を植栽
- 1984年に間伐 (約25%)

Matemetho

- 4段階(N0,N1,N2,N3)のN条件

1971~1974年 N1,N2,N3=60,120,180

1974~1977年 N1,N2,N3=40,80,120

1977~N1,N2,N3=30,60,90 (kg N ha⁻¹year⁻¹)

1990年にN3処理中止

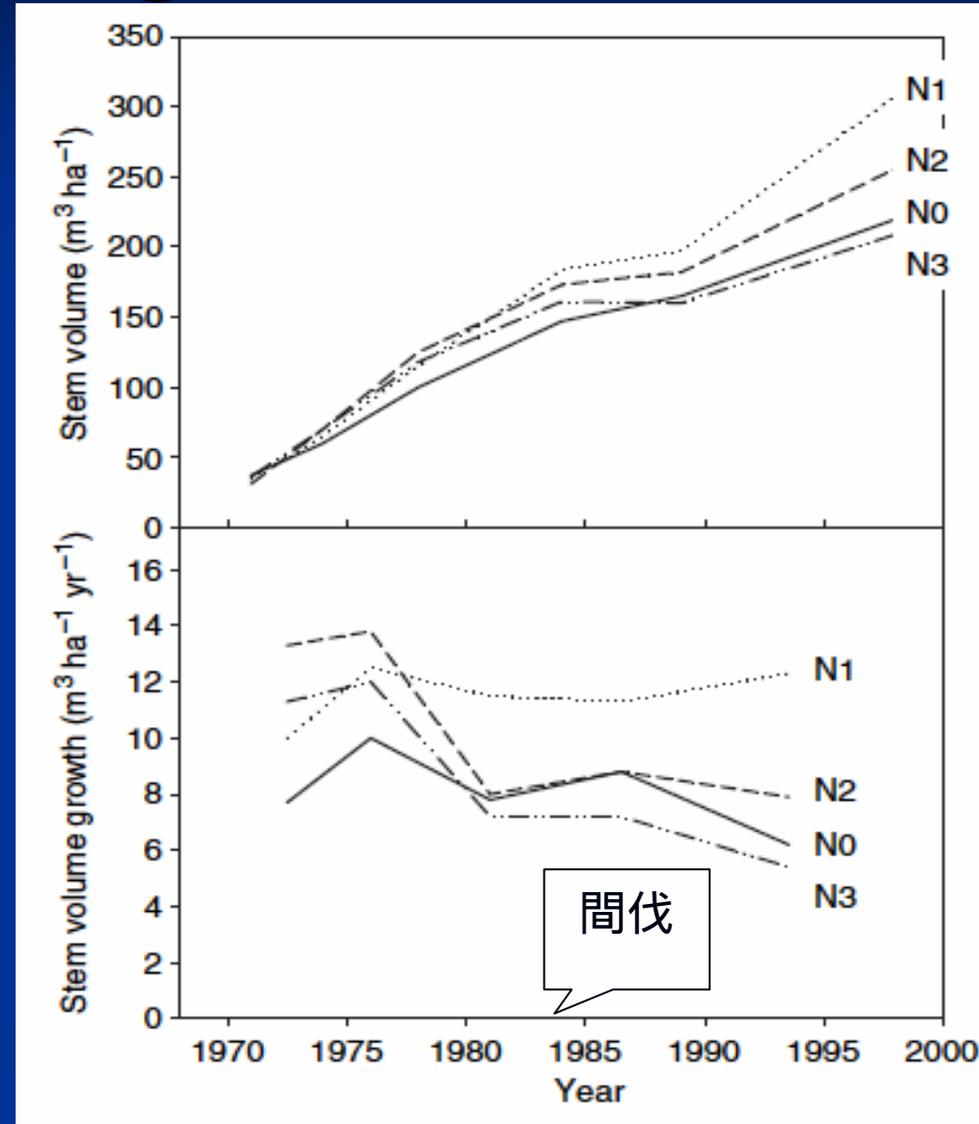
- 成長、葉の養分、土壌の化学性分析

- Boron(ホウ素)を1980年に施肥

(N2,N3区の樹幹上部で枯死)

結果-成長 (growth)

- 処理開始後7年間
N1,N2,N3成長
- 処理後10年(成長率)
N1, N2とN3
(N0に比べ)
- 1989~1998年の成長率
N1 > 2N0 > N2 > N0
N3 < N0



各種元素の主な役割

- N:タンパク質の成分元素
- K:原形質構造の維持やそのpHの調整に関与
- Mg:葉緑素の主成分 多くの酵素系の活性化剤
- P:DNA,RNA,ATPなどの構成成分。
光合成産物の転流にも関与。
- Ca:細胞質の構造と性質に関与
- B:細胞壁の構成を通じて細胞分裂に関与?

結果-葉の養分 (foliage nutrient)

Treatment	Time and nutrients						
	1970	1974 and 1976		1982 and 1984	1997-2002		
				N (%)			
N0	1.33 ± 0.01	↓	1.38 ± 0.05 ^a	↓	1.20 ± 0.01 ^a	↓	1.32 ± 0.03 ^a
N1	1.25 ± 0.01		1.63 ± 0.03 ^b		1.44 ± 0.03 ^b		1.55 ± 0.02 ^b
N2	1.32 ± 0.04		2.06 ± 0.02 ^c		1.75 ± 0.07 ^c		1.76 ± 0.05 ^c
N3	1.29 ± 0.04		2.21 ± 0.06 ^d		1.80 ± 0.05 ^c		1.57 ± 0.03 ^b
				P (%)			
N0	0.195 ± 0.01	↓	0.221 ± 0.01 ^a		0.170 ± 0.00		0.170 ± 0.00
N1	0.193 ± 0.03		0.170 ± 0.01 ^b		0.163 ± 0.01		0.175 ± 0.00
N2	0.182 ± 0.01		0.176 ± 0.01 ^{a,b}		0.147 ± 0.01		0.173 ± 0.00
N3	0.202 ± 0.02		0.162 ± 0.01 ^b		0.143 ± 0.01		0.180 ± 0.00
				K (%)			
N0	0.402 ± 0.04		0.413 ± 0.08		0.382 ± 0.06		0.458 ± 0.02
N1	0.446 ± 0.04		0.388 ± 0.03		0.336 ± 0.02		0.457 ± 0.00
N2	0.413 ± 0.08		0.383 ± 0.05		0.332 ± 0.03		0.424 ± 0.01
N3	0.395 ± 0.06		0.341 ± 0.02		0.316 ± 0.01		0.444 ± 0.03
				Mg (%)			
N0	0.119 ± 0.01	↓	0.112 ± 0.00 ^a	↓	0.100 ± 0.00 ^a	↓	0.105 ± 0.00 ^a
N1	0.122 ± 0.02		0.074 ± 0.01 ^b		0.085 ± 0.00 ^b		0.085 ± 0.00 ^b
N2	0.125 ± 0.01		0.070 ± 0.01 ^b		0.070 ± 0.00 ^c		0.074 ± 0.00 ^b
N3	0.136 ± 0.02		0.070 ± 0.00 ^b		0.065 ± 0.00 ^c		0.081 ± 0.00 ^b
				Ca (%)			
N0	0.201 ± 0.01	↓	0.198 ± 0.01 ^a	↓	0.185 ± 0.01 ^a	↓	0.235 ± 0.01 ^a
N1	207 ± 0.02		142 ± 0.02 ^b		0.151 ± 0.01 ^{a,b}		0.156 ± 0.00 ^b
N2	0.225 ± 0.01		0.121 ± 0.01 ^b		0.119 ± 0.01 ^{b,c}		0.111 ± 0.01 ^c
N3	0.216 ± 0.01		0.119 ± 0.01 ^b		0.103 ± 0.01 ^c		0.134 ± 0.01 ^{b,c}
				B (ppm)			
N0	11.6 ± 0.9	↓	9.9 ± 0.1 ^a	↓	32.5 ± 0.8	↓	21.3 ± 0.8 ^a
N1	12.5 ± 1.4		3.2 ± 0.3 ^b		23.2 ± 4.8		17.3 ± 0.8 ^{a,b}
N2	14.7 ± 4.5		3.3 ± 0.9 ^b		17.7 ± 3.9		13.9 ± 1.3 ^b
N3	12.3 ± 2.6		2.5 ± 0.3 ^b		16.4 ± 2.9		18.2 ± 1.4 ^{a,b}

N付加中断 N濃度 他の養分微

結果一土壤養分(Soil Nutrition:2000年)

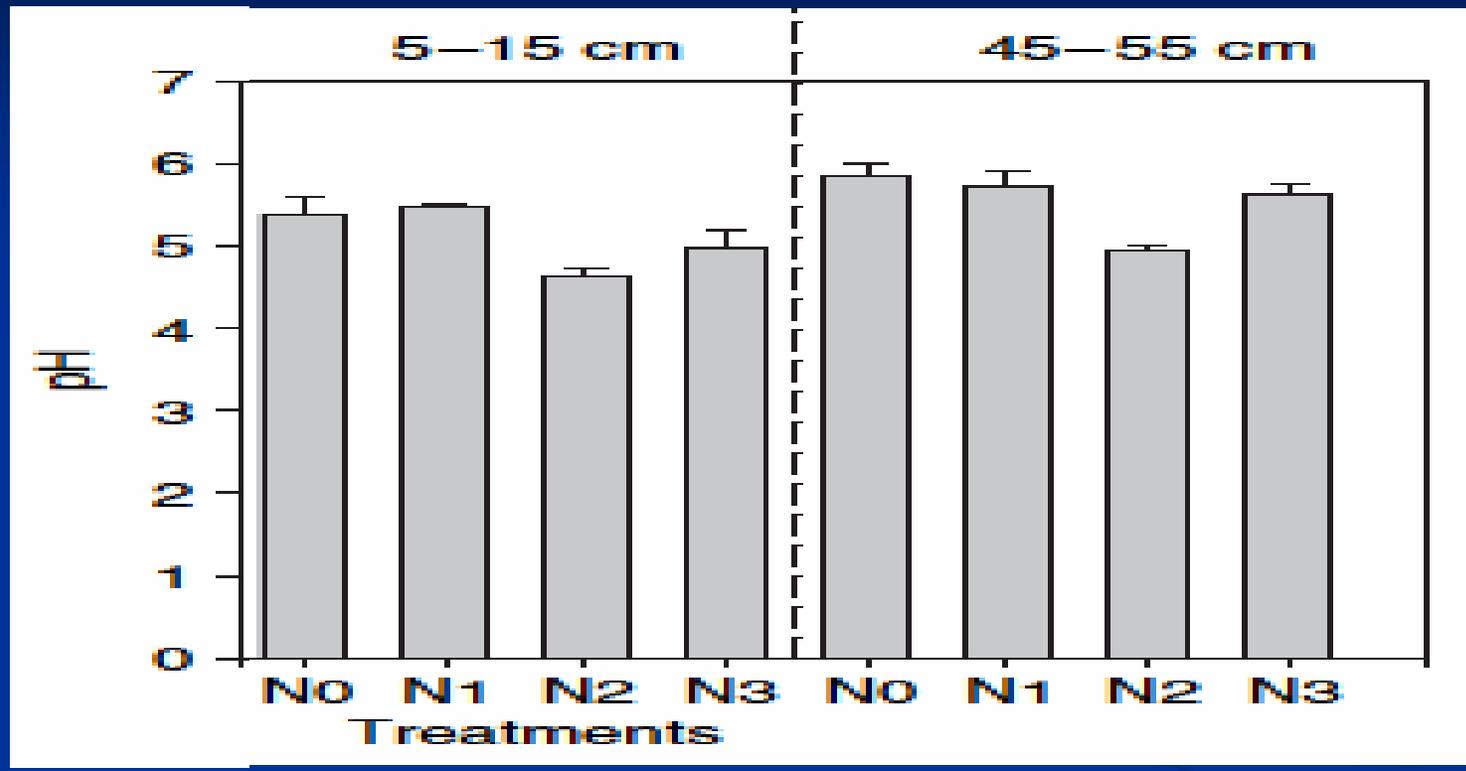
Table 3 Exchangeable base cations and Al³⁺ in the 5–15 and 45–55 cm soil depth horizons in the N0–N3 treatments at Norrliden

Horizon and ion	Treatment			
	N0	N1	N2	N3
<i>5–15 cm soil depth</i>				
Ca ²⁺	2.93 ± 0.38 ^a	1.20 ± 0.37 ^b	0.58 ± 0.10 ^b	0.67 ± 0.16 ^b
Mg ²⁺	0.39 ± 0.03 ^a	0.25 ± 0.04 ^a	0.15 ± 0.02 ^b	0.23 ± 0.04 ^b
K ⁺	0.69 ± 0.05 ^a	0.30 ± 0.07 ^b	0.20 ± 0.03 ^b	0.21 ± 0.02 ^b
Al ³⁺	11.37 ± 2.73	13.20 ± 2.45	18.57 ± 1.11	20.07 ± 2.52
<i>45–55 cm soil depth</i>				
Ca ²⁺	0.96 ± 0.14 ^a	0.91 ± 0.13 ^a	0.26 ± 0.02 ^b	0.32 ± 0.04 ^b
Mg ²⁺	0.22 ± 0.06	0.21 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01
K ⁺	0.35 ± 0.05 ^a	0.24 ± 0.01 ^{a,b}	0.13 ± 0.02 ^b	0.14 ± 0.03 ^b
Al ³⁺	0.60 ± 0.21 ^a	1.13 ± 0.30 ^{a,b}	1.50 ± 0.12 ^{a,b}	1.93 ± 0.34 ^b

Ca,Mg,K: N處理區

Al: N處理區 (N0 < N1 < N2 < N3)

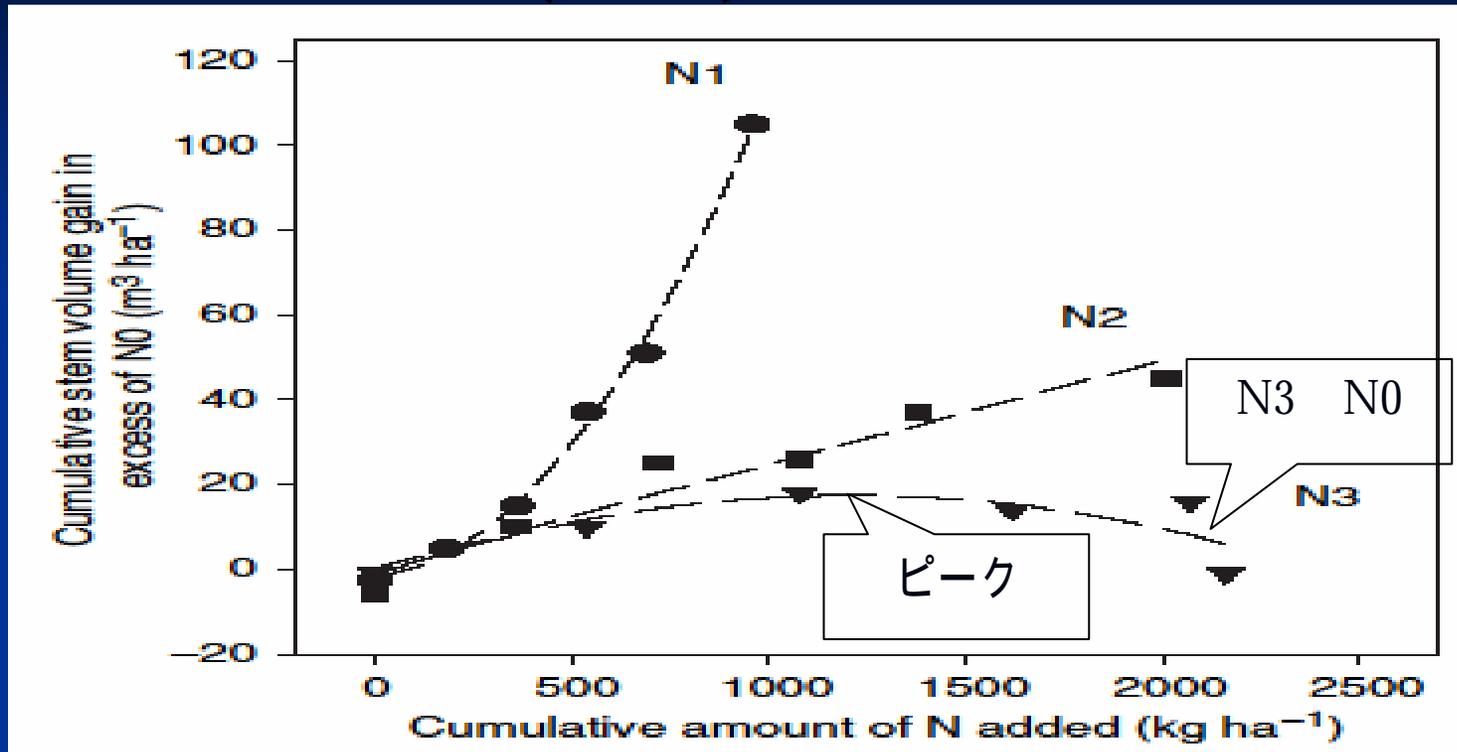
結果-pH(2000年)



•5-15,45-55 : N2区最もpH低,N2区に比べN3区がN0に近い

- 樹木の成長には窒素負荷の割合とNの投与量(総量)のどちらが重要か？
- N負荷された森林では何が樹木の成長の衰退を引き起こすのか？
- 窒素負荷が中止された時、BCや土壌pHはどれくらいで回復するか？

樹木の成長には窒素負荷の割合とNの投与量(総量)のどちらが重要か？

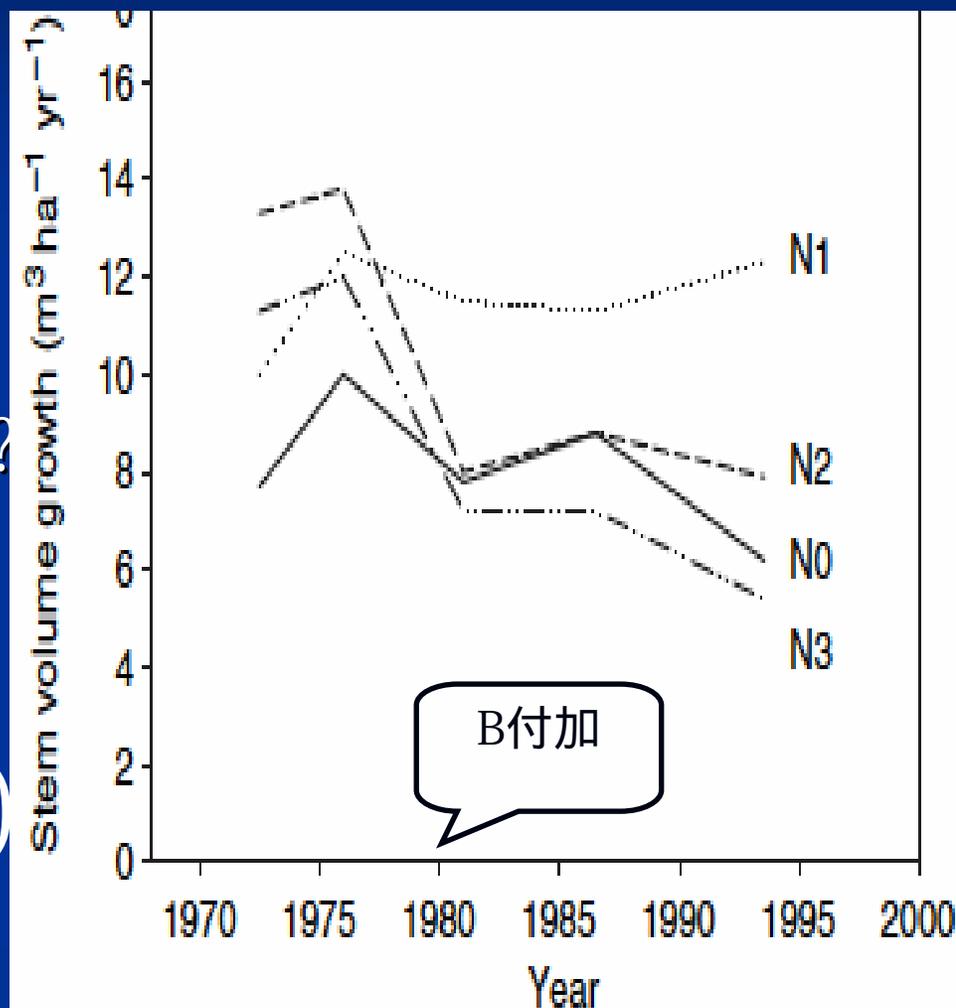


- N1、N2はほぼ直線的に増加
- N3は>1000kgNでピーク、最終的にN0の材積量とほぼ等しい
- 樹木の成長にはNの総量よりもN付加時の濃度が重要!!

N負荷された森林では 何が樹木の成長の衰退を引き起こすのか？

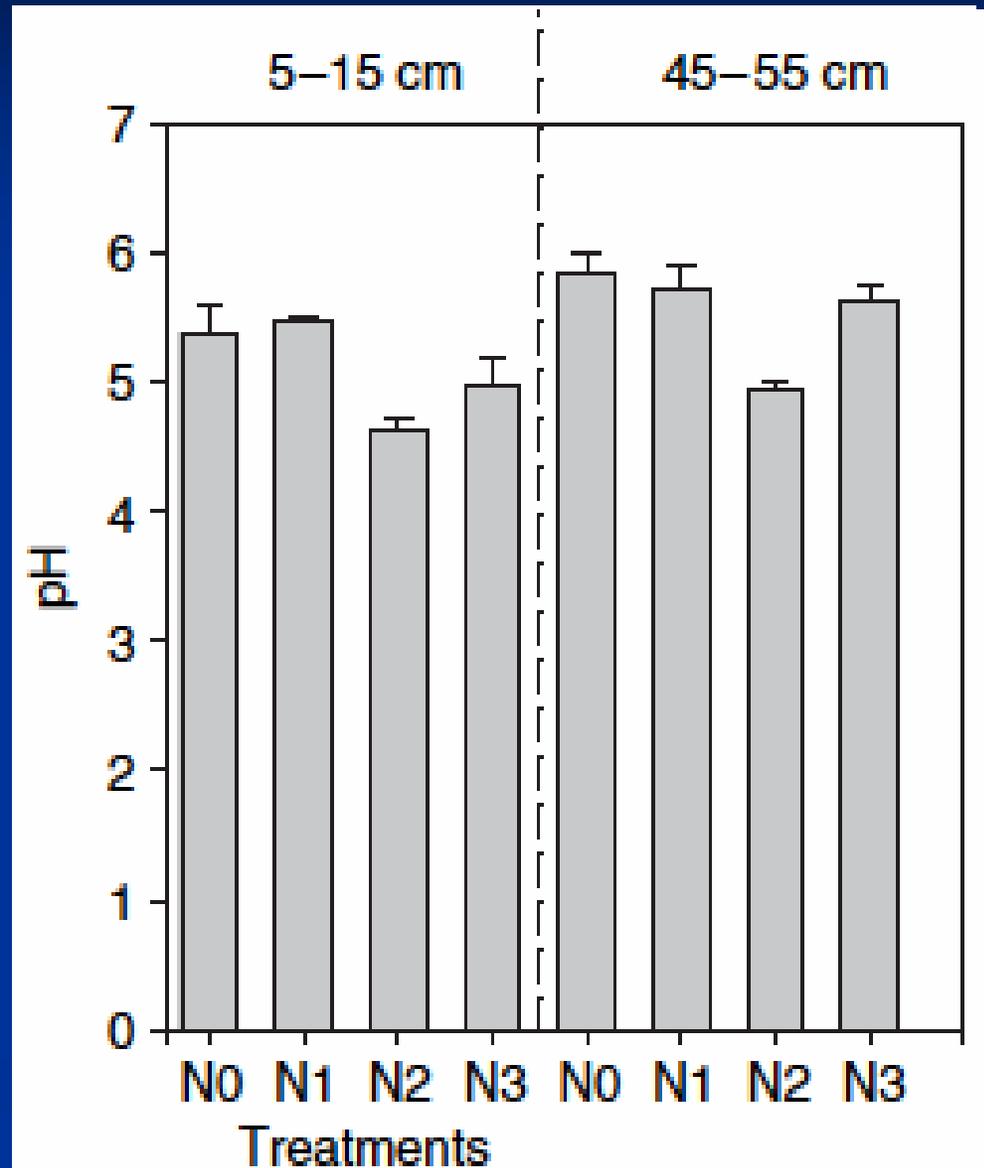
- 1975~80年の間の低下
明確な答えなし!!
Bの欠乏に関連している?

葉量が増加したため
(Tamm et al.1999によると)
1985年に葉量倍増



窒素負荷が中止された時、BCや土壌pHはどれくらいで回復するか？

- 処理後10年で回復
- BCはN2区に比べ
- N3区のpHは最も低くなくなった



まとめ

- 北ヨーロッパでの現状レベルの窒素沈着量 (30kgN) では樹木の成長へ悪影響はない
- 土壌の酸性化やBCの欠乏が樹木の成長に有害であるという直接的な原因は?
- 処理中止後10年で土壌のBC,pHは回復
- 窒素負荷のRateが総量よりも重要
 - 短期間のHN付加実験で将来の予測は不可能
 - 長期間の実験が重要!!

Bとは?

- 動物や微生物では不必要
- 生理的な役割は不明な点多
- 細胞壁の構成を通じて細胞分裂に関与?
- B欠乏 組織の褐変
根や茎の成長点の細胞分裂の障害や組織の破壊

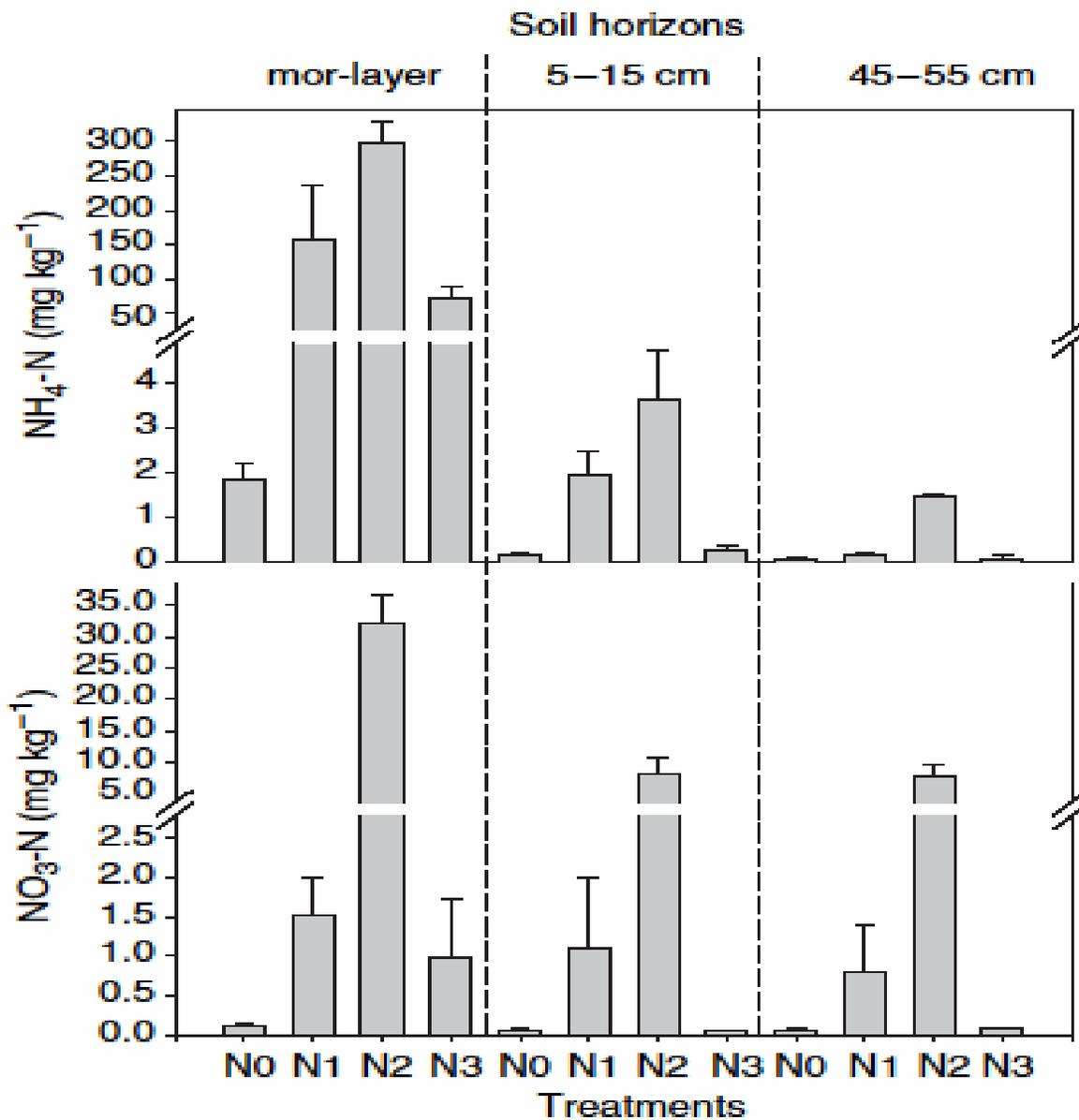
結果一土壤養分(Soil Nutrition 2000年)

Table 2 Elements (kg ha^{-1}) in the mor-layer of plots in the N0-N3 treatments in experiment E55 at Norrliden in 2000

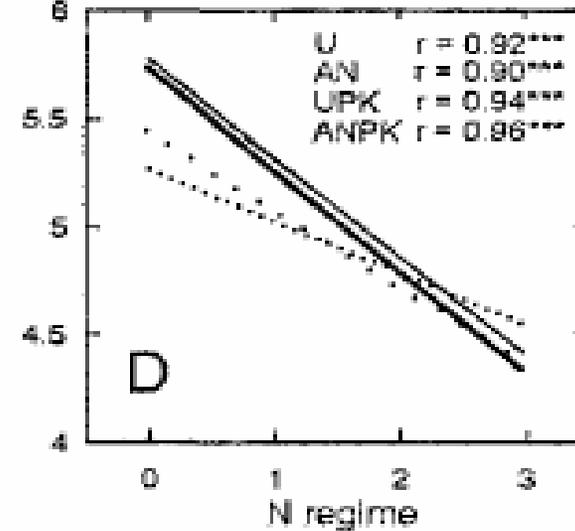
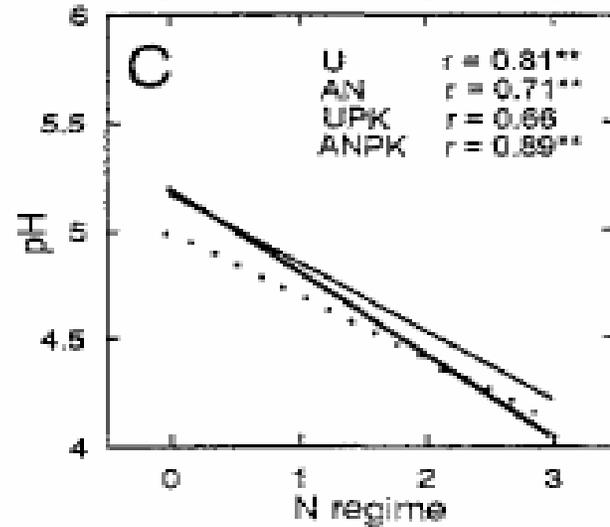
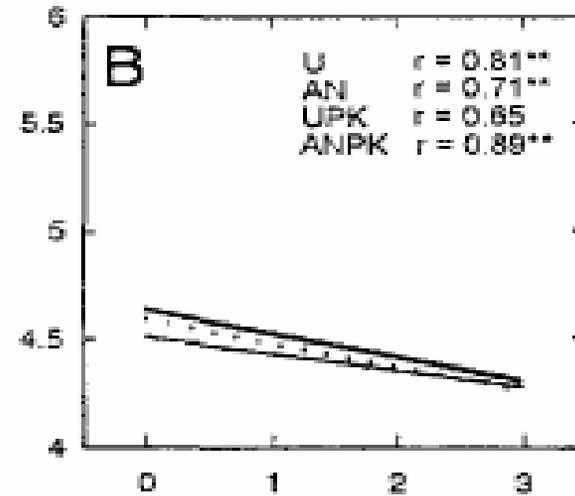
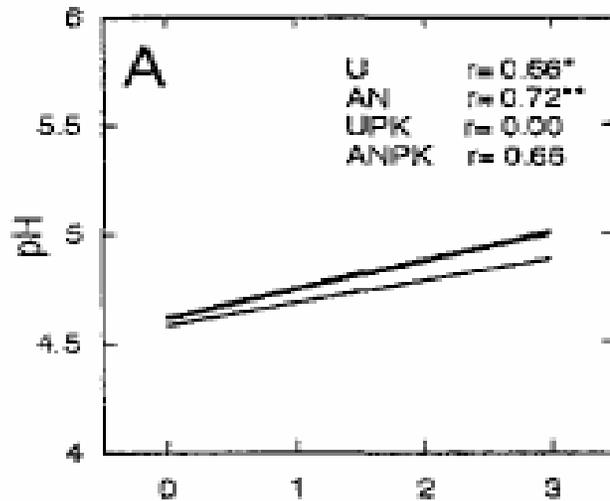
Element	Treatment			
	N0	N1	N2	N3
Total Nitrogen [†]	165 ± 6	316 ± 34	351 ± 34	416 ± 54

N处理区

全N



1988年における土壌pH



樹木の成長にはCa/Alが指標となり得るか？

- 成りえない!!
- Ca/Alの間には相関なし

葉のバイオマス量-成長 (1985)

