

# 石灰窒素と蹄耕法による急傾斜放牧地簡易更新法の評価

○吉村文孝，河野吉樹，山崎絹世

教育・研究技術支援室 生物・生体技術系

## 概要

名古屋大学大学院生命農学研究科附属科学教育研究センター・東郷フィールド（以下，東郷フィールド）の急傾斜放牧地に対する簡易更新法の開発を試みた。更新法として石灰窒素による草地の除草と施肥，pH 矯正を試み，蹄耕法により，耕起，踏圧作業を実施した。その結果，石灰窒素による簡易更新法は，慣行法よりも少ない労力で，慣行法と同程度の更新効果を示すことができた。肥料代は慣行法よりも 25%ほど高額になるが，人力で肥料，除草剤を運搬する労力の少なさや，土壌成分への悪影響の小ささなどと併せて考慮したうえで，石灰窒素による簡易更新法を実施する放牧地を決定するのが効率的であると考えられる。

## 1 緒言

東郷フィールドでは，ウシ（黒毛和種）（*Bos taurus*），ヤギ（シバヤギ）（*Capra hircus*）を管理している。夏季にはそれらの家畜を約 3ha の放牧地に放牧し管理を行っている。

放牧地には，植物密度の低下，植物種類の悪化といった経年劣化が生じるため，数年に一回の更新作業が必要とされる。通常の更新作業は，除草，耕起，施肥，播種，踏圧の工程で行われ，大型機械によって行われる。しかし，東郷フィールドの放牧地は急傾斜地であり，大型機械による更新作業は困難である。そのため，東郷フィールド放牧地は長期間更新されていない。急傾斜放牧地の更新には人力に頼る部分が多いため，作業の効率化が課題となる。そこで筆者らは，東郷フィールドの急傾斜放牧地に対して，石灰窒素を利用した簡易更新法を検討し，実施してきた（吉村ら，2014）。上記の報告により，東郷フィールドの放牧地には不嗜好性植物や有毒植物の侵入が見られ，土壌状態も放牧地として不適な状況であることが明らかになった。

本研究では吉村ら（2014）による簡易更新実施後の放牧地の植生と土壌状態とを調べることで，簡易更新法の評価を行うことを目的とする。

本更新法は，東郷フィールド放牧地維持のために有用な技術となるとともに，急傾斜放牧地を有する畜産農家にとっても有用な技術となる可能性がある。

## 2 材料および方法

### 2.1 簡易更新実験

東郷フィールド第 2~4 放牧地（互いに隣接）に「石灰窒素区」，「慣行区（除草剤と肥料）」，「肥料のみ区」，「除草剤のみ区」，「無作業区」の 5 種類，9 つの処理区を設置した。それぞれの処理区を斜面上部から下部へ向けて 4 分の 1 ずつ A~D の 4 区画に分け，合計 36 区画とした。各実験区に対して行った処理と施肥量を表 1 に示した。なお，除草剤としてグリホサート系除草剤のサンフーロンを用いた。

オーチャードグラス（*Dactylis glomerata*）（品種：ポトマック）20kg，ペレニアルライグラス（*Lolium perenne*）（品種：普通種）15kg，イタリアンライグラス（*Lolium multiflorum Lam.*）（品種：普通種）10kg を均一に混合し，全 36 区画に均一に播種した。背負式肥料散布機もしくは手作業で播種を行った。

表 1. 実験区の設定と実施した処理の詳細

	第2牧区			第3牧区			第4牧区		
	2-1 慣行	2-2 肥料のみ	2-3 石灰窒素	3-1 石灰窒素	3-2 無作業	3-3 除草剤のみ	4-1 慣行	4-2 無作業	4-3 石灰窒素
石灰窒素ベルカ	0	0	5	5	0	0	0	0	5
尿素	2	2	0	0	0	0	2	0	0
散布袋数	6	6	6	6	0	0	6	0	6
(単位: 袋)									
過リン酸石灰	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1.5	0	1.5
塩化カリウム	4	4	0	0	0	0	4	0	0
消石灰	+	-	-	-	-	+	+	-	-
サンフーロン**									
N	18.4	18.4	19.5	19.5	0	0	18.4	0	19.5
肥料成分量									
(単位: kg)									
P	21	21	21	21	0	0	21	0	21
K	15	15	15	15	0	0	15	0	15
石灰分	40	40	52	52	0	0	40	0	52
金額***	19735	19210	24220	24220	0	525	19735	0	24220

\*慣行は除草剤+肥料

\*\*サンフーロン項目において, +: 使用, -: 不使用.

\*\*\*金額には除草剤代 (サンフーロン100倍希釈液250使用より, 525円) を含む.

## 2.2 植生調査

ブラウン (1971a, b)による植生調査を行った. 各実験区を中心付近の植生に対して, 1m x 1m のコドラートを用い, 植物種, 被度, 群度を記録した. 用いた被度群度の判定基準を表 4 に示した. 植生調査を放牧と更新終了後の 2013 年秋 (2013 年 9 月 26, 28 日実施), 放牧開始前の 2014 年春 (2014 年 5 月 3 日) と, 放牧終了直前の 2014 年秋 (2014 年 9 月 27 日と 10 月 8 日) に実施した.

表 2. 被度と群度の判定基準

度数	被度	群度
5	75% ≤ ≤ 100%	マット状で全体を覆う
4	50% ≤ < 75%	パッチ状または穴の多いマット状
3	25% ≤ < 50%	大きな群
2	10% ≤ < 25%	小さな群
1	1% ≤ < 10%	単独
+	< 1%	

## 2.3 土壌分析

植生調査と同時に, それぞれの実験区から土壌を採取し土壌分析を行った. コンパクト pH メーター B-712 (HORIBA 製) により pH を, コンパクト電気伝導率計 B-771 (HORIBA 製) により電気伝導率 (EC) を測定した. 各処理区より得た土 10g に対し, 純水 50g を加え, 攪拌後, 上澄み液を分析に用いた.

2013 年秋調査時の石灰窒素区 (2-3, 3-1, 4-3) に関しては, 処理前に土壌採取できなかったため, 他の区の値の平均値を利用した.

## 2.4 蹄耕法

蹄耕法は手順①: 前植生の抑圧処理のため, 重放牧を行い, 手順②: 次に生じた裸地に牧草種子を撒き, 再び家畜を放牧し, 踏みつけにより牧草種子を土壌に定着させ, 手順③: 牧草が野草とともに成長してきた際に, 再び家畜を放牧し, 両者を採食させるという方法である (寺田, 2006). 2013 年秋に手順②までを行った. 手順③としての放牧は 2014 年 5 月 7 日から 10 月 17 日の平日に実施した. 調査区 (2, 3, 4 牧区) を

含む全7牧区に、1区当たりおおよそ1~2週間ずつ、4~10頭のウシを放牧した。ウシが草を食べつくした時点で、次の牧区へウシを移動させた。その後、ウシの食べ残した植生をすべて刈り取った（掃除刈）。

### 3 結果と考察

#### 3.1 植生

##### 3.1.1 2014年春調査

見られた植物とその被度、群度、植生区分を表4、5に示した。表4、5による植生区分をさらに「牧草系植生（＝牧草、シバ型野草）」、「可食植生（＝ササ、ススキ型野草＋その他野草）」、「不良植生（＝不嗜好性植物＋有毒植物＋木本）」、「裸地」の4つにまとめ、調査区の処理ごとにそれぞれの区分の比率を図1に示した。

2013年秋の植生比率と比較して無作業区では植生比率が変化しなかったことから、一切の処理を行わなければ冬から春にかけての植生比率変化は生じにくいと思われる。無作業区にも牧草種子を撒いたにも関わらず、植生比率は2013年秋と変わらないことから、本調査区の土壌では土壌改良を伴わなければ牧草は生育しづらいと考えられる。無作業区、2013年秋平均と比較して、牧草系植生比率が高くなったのは石灰窒素区、慣行区、肥料のみ区であった。牧草系植生の比率が最も高かったのは、慣行区であった。次に、石灰窒素区、肥料のみ区で高かった。石灰窒素区と肥料のみ区の牧草系植生比率は同程度だが、可食植生の比率を加えると、石灰窒素区のほうが10%高かった。肥料のみ区の不良植生と裸地の合計比率は、草地更新の目安とされる30%を越えており（30.3%）、施肥のみによる更新では不良植生を排除しきれないと考えられる。石灰窒素の除草効果については、室内実験での報告（浅井ら、2004；井上ら、1970；石田ら、1997；石原ら、1970）や水田実験での報告（石原ら、1970）がある。実験室レベルでは明確に表れる石灰窒素の効果であるが、野外実験では植物種による感受性の違いや、休眠雑草種子への影響などにより効果が不明な点が多いとされる（浅井ら、2005）が、石灰窒素の除草効果は、東郷フィールド放牧地の不良植生に対しても有効である事が示唆された。

除草剤のみ区では、牧草系植生、可食植生、不良植生、の割合がそれぞれ2013年秋調査から減少し、植生裸地比率が増加する結果となった。本研究で使用したグリホサート系除草剤サンフーロンは、グリホサートの効能どおり植生全般を枯らす効果を示したといえる。除草剤は肥料と併用されなければ、単純に植生を減らすのみの効果であった。急傾斜放牧地における裸地の増加は、ウシの踏圧による土壌流出を引き起こすため、除草剤のみを施用することは避けるべきであろう。

以上から、秋の更新時の石灰窒素による簡易更新法は、慣行法と同程度の牧草育成効果を示すと言える。表1より、石灰窒素による更新法は慣行法よりも費用を要するが、草地へ運ぶ肥料の量は少ない。また、除草剤を傾斜放牧地で利用するためには、背負式の噴霧器（20L）に除草剤を入れ、草地に運ばなくてはならず、労力を要する。機械を導入できる平坦な草地では慣行法による更新が効率的であり、有効であると考えられるが、人力に頼る部分の大きい急傾斜放牧地では、石灰窒素を利用した簡易更新法が効率的であると考えられる。

##### 3.1.2 2014年秋調査

2013年と2014年それぞれの秋の植生を比較すると、無作業区でも2013年秋よりも2014年秋の牧草系植生比率の方が上昇している。東郷フィールドで作成しているラップサイレージも、2013年度の223個に対し、2014年度には299個作成されており、2014年の方が牧草、シバといった牧草系植生の生育に適した気候であったことが牧草地における牧草系植生比率を高めた原因の一部であると考えられる。石灰窒素区、慣行区の植生区分の比率は無作業区と同じ程度であることから、更新効果が持続していないと思われる。実験区の傾

斜により、土壌成分を流亡させた可能性を考えられる。

### 3.2 土壌分析

土壌分析の結果を表 5 に示し、2013 年秋調査時の値を基準にした pH と EC の変化を図 3, 4 に示した。

石灰窒素区では 2014 年春に pH=6.4 まで上昇し、牧草生育に好適な pH (6.0~6.5) となったことから、石灰窒素の土壌 pH 矯正効果を確認できたと言える。しかし 2014 年秋には全ての区で 2013 年秋よりも pH が低下していることから、土壌 pH 矯正に関しては施肥内容に再考の必要があると考えられる。この期間における無作業区の pH 低下は降雨などにより自然に生じる土壌の酸性化と考えられる。散布した肥料による土壌の酸性化だけではなく、この自然の酸性化にも留意した施肥設計が必要であろう。施肥内容に関して同様の慣行区と肥料のみ区で pH 変化に大きな違いが出た。また、pH 矯正を行える資材を投入していない除草剤のみ区で 2014 年春に pH が上昇していることから、除草剤が土壌 pH に何らかの影響を与えた可能性が考えられる。

2014 年春の EC 上昇は慣行区で最も大きかった。肥料に関して同量を施肥した肥料区よりも、慣行区の EC 上昇が高くなったのは、除草剤によって枯れた植物体が分解されたためと思われる。施肥していない除草剤区における EC 上昇も同様の原因であると考えられる。石灰窒素区では、無作業区とほぼ同じ程度の EC 増加しか見られなかった。EC は硝酸イオンと相関が高いとされる (藤原, 2013)。しかし、石灰窒素はジシアンジアミドの効果により、アンモニウムイオンの硝酸イオンへの変換を阻害するため、本研究による土壌 EC 測定では石灰窒素区の EC が無作業区と似た変化を示したと考えられる。しかしながら、アンモニウムイオンと EC の関係など不明な点が多く、石灰窒素区における EC 動態について今後も検討が必要と思われる。無作業区においても、2014 年春に EC 値が上昇した。呉ら (1998) による森林土壌の野外培養実験においても、土壌 EC 値が夏季に上昇し冬季に低下することが観察され、夏季の有機物の無機化が原因とされている。上記研究は針葉樹林内の土壌での実験であったが、東郷フィールド放牧地においても同様に夏季の有機物の無機化によって土壌 EC 値が上昇したと考えられる。放牧地では、2013 年秋に掃除刈で刈り取られた植物の残渣や、ウシの糞、尿が低温な冬季に分解されずに残り、春の気温上昇に伴い分解され EC を上昇させたものと思われる。

2014 年秋の調査では、いずれの区においても pH は 2013 年秋よりも低下し、EC も 2014 年春の値から減少した。2014 年秋に石灰窒素区、慣行区の植生区分比率が無作業と同程度になったこととあわせて、急傾斜放牧地では土壌成分の流亡を示唆していると考えられる。更新効果の持続性の低さは、更新頻度の上昇につながり、長期的視点では労力を軽減できたとは言えない。肥料成分の流亡を防ぎ、更新効果を持続させる方法の開発が必要であると考えられる。

野外調査地における土壌の pH, EC の動態はさまざまな要因が複雑に関与していると思われる。そのため、牧草地更新の際には数値データだけではなく、実際の植生の種類をよく注視し管理を実施することが望ましいと考える。

表 4. 2014 年春の調査で見られた植物種と種ごとの合計被度，平均群度，区分

種名	学名	出現区数	合計被度	平均群度	区分
ハルガヤ	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	5	5	1.6	不嗜好性
ヨモギ	<i>Artemisia indica</i>	6	3	1	その他野草
キク科 S P (幼)	<i>Asteraceae SP</i>	1	+	1	その他野草
ササ類 S P	<i>Bambusoideae SP</i>	12	33	3.1	ススキ・ササ型野草
オランダミミナグサ	<i>Cerastium glomeratum</i>	9	7	1.2	その他野草
オーチャードグラス	<i>Dactylis glomerata</i>	1	5	5	牧草
アメリカフウロ	<i>Geranium carolinianum</i>	3	3	1.3	その他野草
イタリアンライグラス	<i>Lolium multiflorum Lam</i>	37	123	3.54	牧草
ペレニアルライグラス	<i>Lolium perenne</i>	1	5	2.0	牧草
ヘクソカズラ	<i>Paederia scandens</i>	2	2	1	不嗜好性
イネ科 S P	<i>Poaceae SP</i>	2	2	2	牧草
ヘビイチゴ	<i>Potentilla hebiichigo</i>	2	4	1.5	不嗜好性
シダ植物 S P	<i>Pteridium SP</i>	2	4	1.5	有毒
コナラ?	<i>Quercus serrata</i>	1	+	1	木本
ハリエンジュ	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	1	1	木本・有棘
ヒメスイバ	<i>Rumex acetosella</i>	20	46	2.6	有毒
ギシギシ	<i>Rumex japonicus</i>	7	1	1.0	有毒
ツメクサ	<i>Sagina japonica</i>	1	1	1	その他野草
アメリカキンゴジカ	<i>Sida spinosa</i>	4	1	1.25	不嗜好性
セイタカアワダチソウ	<i>Solidago canadensis</i>	6	5	1	その他野草
ウシハコベ	<i>Stellaria aquatica</i>	1	1	1	その他野草
セイヨウタンポポ	<i>Taraxacum officinale</i>	5	5	1.2	その他野草
シロツメクサ	<i>Trifolium repens</i>	1	+	1	その他野草
カラスノエンドウ	<i>Vicia sativa subsp. nigra</i>	4	2	1.0	その他野草
コケ S P		1	1	5	不嗜好性
裸地		14	32		裸地
			260	2.3	

\*被度は合計値，群度は平均値

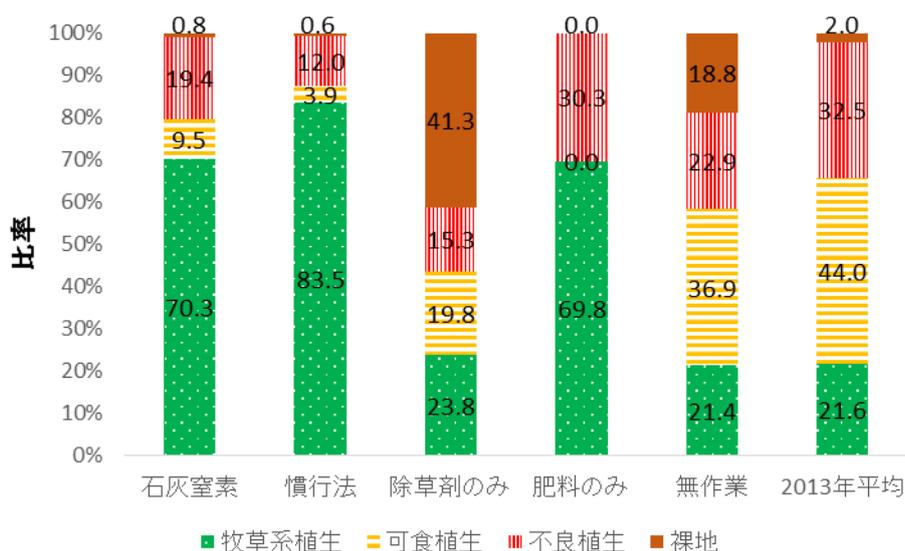


図 1. 2014 年春の実験区ごとの植生比率

表 4. 2014 年秋の調査で見られた植物種と種ごとの合計被度，平均群度，区分

種名	学名	出現区数	合計被度	平均群度	区分
タラノキ	<i>Aralia elata</i>	1	1	1	木本・有棘
ヨモギ	<i>Artemisia indica</i>	4	4	1.25	その他野草
ヨメナ	<i>Aster yomena</i>	2	4	2	その他野草
ササ類 S P	<i>Bambusoideae SP</i>	17	58	3.24	ススキ・ササ型野草
ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i>	3	7	1.67	ススキ・ササ型野草
カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i>	1	1	1	有毒
ヘクソカズラ	<i>Paederia scandens</i>	8	8	1	不嗜好性
チカラシバ	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	2	2	1	不嗜好性
イヌタデ	<i>Persicaria longiseta</i>	2	2	1.5	有毒
オオイヌタデ	<i>Persicaria nodosa</i>	5	6	1.4	その他野草
ヨウシュヤマゴボウ	<i>Phytolacca americana</i>	1	1	1	有毒
オオバコ	<i>Plantago asiatica</i>	1	1	1	その他野草
イネ科 S P	<i>Poaceae SP</i>	32	112	3.69	シバ型野草
シダ植物 S P	<i>Pteridium SP</i>	4	8	2	有毒
クズ	<i>Pueraria lobata</i>	2	2	1	その他野草
コナラ?	<i>Quercus serrata</i>	4	4	1	木本
ハリエンジュ	<i>Robinia pseudoacacia</i>	3	5	1	木本・有棘
ノイバラ	<i>Rosa multiflora</i>	1	1	2	不嗜好性
ヒメスイバ	<i>Rumex acetosella</i>	13	30	2.54	有毒
ギシギシ	<i>Rumex japonicus</i>	6	6	1	有毒
アメリカキンゴジカ	<i>Sida spinosa</i>	4	2	1.25	不嗜好性
セイタカアワダチソウ	<i>Solidago canadensis</i>	4	7	1.75	その他野草
ウシハコベ	<i>Stellaria aquatica</i>	2	2	1	その他野草
ナンキンハゼ	<i>Triadica sebifera</i>	2	2	1	木本
オオオナモミ	<i>Xanthium occidentale</i>	1	2	1	有毒
裸地		26	43	0	裸地
			278	2.3	

\*被度は合計値，群度は平均値

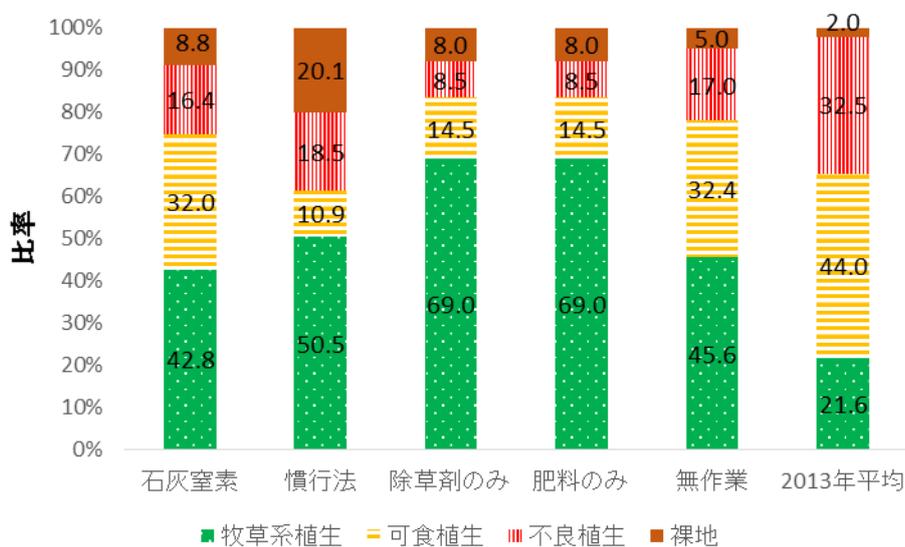


図 2. 2014 年秋の実験区ごとの植生比率

表 5. 土壌分析結果

	石灰窒素	慣行	除草剤のみ	肥料のみ	無作業	平均	
区数	12	8	4	4	8	36	
pH	2013秋	5.3	5.7	5.0	5.9	5.5	5.5
	2014春	6.4	5.7	5.7	6.4	5.0	5.8
	2014秋	5.1	5.1	4.7	5.0	4.7	4.9
	平均	5.6	5.5	5.1	5.8	5.0	5.4
EC	2013秋	46.9	50.5	36.3	63.5	44.8	48.4
	2014春	202.1	283.0	226.3	231.3	191.1	226.7
	2014秋	118.4	154.0	85.0	108.0	125.6	118.2
	平均	122.5	162.5	115.9	134.3	120.5	131.1

\*ECの単位は $\mu\text{S}/\text{cm}$

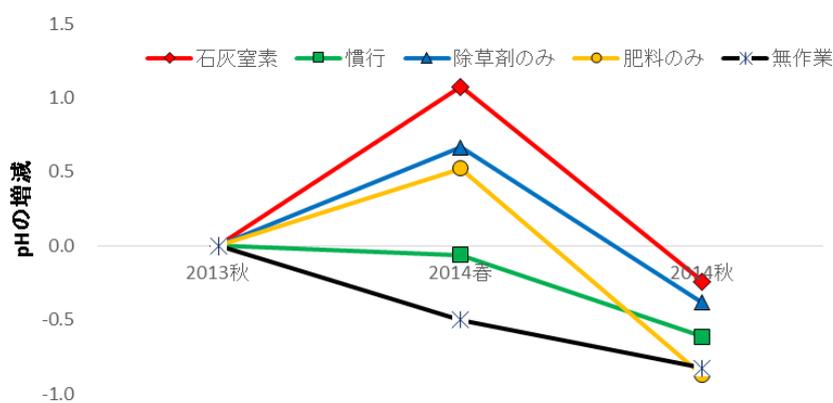


図 3. 調査区，時期ごとの pH 変化

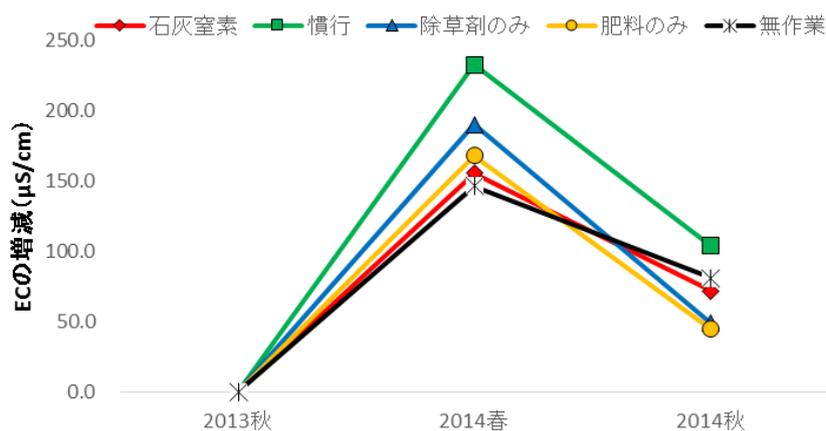


図 4. 調査区，時期ごとの EC 変化

### 3.3 総合考察

石灰窒素区は春の放牧地植生の生育には、慣行区と同等の効果を示した。放牧地へ人力で運ぶ肥料の重量は、石灰窒素も通常の肥料でも同等であるが、石灰窒素区では除草剤を運ぶ労力を軽減できた。

石灰窒素は土壌 EC 値を上昇させなかったが、牧草系植生の比率を高めていたため、放牧地への石灰窒素

施用は牧草育成という目的に対して正の効果を示していると言える。これは石灰窒素分解生成物のジシアンジアミドの効果がアンモニウムイオンの硝酸イオンへの変換が妨げ、EC値と高い相関を示す硝酸イオンの濃度を上昇させなかったことに起因すると考えられる。土壌中の硝酸イオンは濃度が上昇すると植物に取り込まれ、植物は硝酸を含んだ状態になる。これを動物が食べると、硝酸の量によっては硝酸塩中毒を起こしうる。ウシにおける臨床症状は急性なことが多く、重症では発症後2~3時間で死亡するとされる(中井, 2006)。従って放牧地や採草地において土壌の硝酸濃度が高まることは望ましくなく、硝酸濃度を高めずに植生を公的な状態にした石灰窒素は放牧地、採草地への肥料として適していると考えられる。本研究では土壌の硝酸イオン濃度やアンモニア濃度を計測していない。石灰窒素の放牧地における実際の動態を把握するため、今後これらのイオン濃度にも着目した分析が望まれる。また、土壌成分の流亡を示唆する結果を得たことから、今後、一度の更新で更新効果を長期間持続させる方法を検討する必要があるだろう。

以上から石灰窒素による簡易更新法は、慣行法よりも少ない労力で、慣行法と同程度の成果を示すことが示唆された。また、本方法は石灰窒素の性質により土壌中の硝酸イオン濃度を高めずに更新できる可能性がある。肥料の料金は慣行法よりも25%ほど高額になるが、その草地への資材運搬労力の大小や、肥料による土壌成分への影響などを考慮したうえで、石灰窒素による簡易更新法を実施する放牧地を決定するのが効率的であると考えられる。

## 引用文献

- [1] 浅井元朗・興語靖洋. 2004. 不耕起と石灰窒素処理によるカラスムギ数集団の出芽反応と培土種子の減衰. 雑草研究別号講演会講演要旨 43 : 156-157.
- [2] 浅井元朗. 2005. 石灰窒素の除草効果を考える なにがどこまでわかっているか. 石灰窒素だより 140 : 1-7.
- [3] ブラウン ブランケ. 1971a. 植物社会学 I (鈴木時夫, 訳). 朝倉書店, 東京, 359pp.
- [4] ブラウン ブランケ. 1971b. 植物社会学 II (鈴木時夫, 訳). 朝倉書店, 東京, 829pp.
- [5] 藤原俊六郎 図解土壌の基礎知識 農山漁村文化協会 東京 2013 pp172
- [6] 井上克弘・東俊雄・山崎欣多. 1970. 休眠覚醒利用によるノビエ防除に関する研究(第1報)呼吸阻害剤および呼吸阻害性ガスの休眠覚醒作用. 日本土壌肥科学雑誌 41 : 377-382.
- [7] 石田亮介・山末祐二・草薙得一. 1997. 野生ヒエに対する石灰窒素の種子休眠覚醒効果の再確認. 雑草研究別号 42 : 230-231.
- [8] 石原信一郎・竹島修二・滝川圭吾. 1970. 水稻休閑期におけるノビエ防除に関する研究(第2報)石灰窒素の休眠覚醒効果について. 富山県農業試験場研究報告 4 : 57-63.
- [9] 中井裕. 2006. 第7章 家畜の福祉衛生. 新編畜産ハンドブック (扇元敬司・桑原正貴・寺田文典・中井裕・清家英貴・廣川治, 編), pp. 274-334. 講談社, 東京.
- [10] 呉国南・戸田浩人・生原喜久雄・相場芳憲 (1998) 森林土壌の窒素無機化が水溶性イオン量に及ぼす影響. 日本林学会誌 80 : 21-26.
- [11] 吉村文孝・河野吉樹・山崎絹世. 2014. 石灰窒素と蹄耕法による急傾斜放牧地簡易更新法の開発. 第9回名古屋大学技術研修会ポスター発表本稿, 生物 P1: 1-8.