

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

○吉村文孝，山崎絹世，河野吉樹

教育・研究技術支援室 生物・生体技術系

1 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。本研究では石灰窒素により草地の除草と施肥，pH 矯正を試み，蹄耕法により踏圧作業を実施した。本研究では，更新前の草地植生と草地の土壌状態について報告し，来年度の報告において更新後の植生，土壌の状態と簡易更新法の成否について報告する。

2 諸言

東郷フィールドでは，ウシ (*Bos taurus*)，ヤギ (*Capra hircus*) を管理している。特に夏季にはそれらの家畜を放牧地（約 3ha）に放牧している。

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。更新作業は，除草，耕起，施肥，播種，踏圧の工程で行われ，その多くで大型機械を利用する。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ず，不嗜好性植物や有毒植物の侵入が見られ，放牧地として不適な状況にあると思われる。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。

そこで本研究では石灰窒素による急傾斜放牧地の簡易更新法の開発を試みる。石灰窒素は，散布されると毒化し除草効果を示したのち，最終的に窒素と石灰に分離し肥効を示す肥料である。石灰窒素の散布は更新作業における，除草と施肥，pH 矯正の作業に相当し，簡易更新法に適していると考えられる。石灰窒素の除草効果については，室内実験での報告（浅井ほか，2004；井上ほか，1970；石田ほか，1997；石原ほか，1970）や水田実験での報告（石原ほか，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，2005）。また，放牧地における除草効果については申請者の知る限り報告はなく，実際の牧草地を用いて石灰窒素試験を可能な東郷フィールドは非常に貴重な存在であるといえる。なお，急傾斜放牧地での更新作業の耕起，踏圧には「蹄耕法」と呼ばれる手法を用いる。これは，ウシを過剰放牧することで，ウシの蹄によって耕起，踏圧を行わせる方法である。

以上より，本研究では東郷フィールドの放牧地において，石灰窒素と蹄耕法を用いた簡易更新法の開発を行うことを目的とする。牧草は初期生育で雑草に負けやすく，播種当年は牧草の定着を確実にすることを重点に置くべきとされることから（寺田，2006），本研究では放牧地の植物種の変化に注視する。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，急傾斜放牧地を抱えた畜産農家にとっても有用な技術となる可能性がある。

なお，本報告では 2013 年冬までの途中経過について報告し，2014 年度の第 10 回名古屋大学技術研修会において実験の最終成果についての報告を行う。また，定性的な放牧地更新実験への予備実験として実施した，牧草育成に最適な施肥を探るための，ワグネルポットによる定量的牧草育成実験についても報告を行う。

3 材料および方法

3.1 ワグネルポットによる定量実験（予備実験）

1/5000a ワグネルポットを用い、土壌条件による牧草収量の変化についての実験を行った。堆肥の有無、元肥の有無、追肥の有無により A~H 区の 8 区を用意し、牧草を播種し、11 週間育成ののち収量の比較を行った。各ポットの条件を表 1 の通りとし、1 区につき 4 ポットずつを用意した。ポットへの堆肥、施肥量は表 2 の通りとした。牧草にはスーダングラスを用いた。土には東郷フィールド第 7 圃場の土を乾燥、砕土ののち、5 mm メッシュでふるったものを用いた。牧草種子 5g、土 3000g は全区共通の値である。

表 1. ポットごとの処理

	A	B	C	D	E	F	G	H
堆肥	-	+	+	+	+	-	-	-
元肥	-	-	+	-	+	+	+	-
追肥	-	-	-	+	+	+	-	+

*+: 使用, -: 未使用

表 2. 堆肥, 肥料投入量

	ポット投入量	10a換算
堆肥	60.00g	3t
元肥	0.16-0.30-0.16(g)	8-15-8(kg)
追肥	0.08-0-0.08(g)	4-0-4(kg)

*投入量は窒素-リン酸-カリウムの順。

堆肥には東郷フィールド自家生産の、牛糞（黒毛和牛）を中心とした、もみ殻、おが粉などの敷料や、飼料クズとの混合堆肥を用いた。元肥にはユニバーサル（14-14-14）と過リン酸石灰（0-17.5-0）とを使用し、追肥にはサミット V（14-0-14）を用いた。愛知県施肥基準（愛知県，2011）の元肥（N-P-K=8-14-8）と追肥（4-0-4）に合致するように施肥量を設計した。

屋外にポットを 4 行（反復数 4）× 8 列（A~H）に配置し、周辺効果に留意し、行ごとにポットを 1 列ずつずらしたうえで、千鳥配置とした。雨天日以外には朝 8 時ごろに灌水を行った。

3.2 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「除草剤と肥料区」、「肥料のみの区」、「石灰窒素処理区」、「除草剤のみの区」、「無作業区」の 5 種類、9 つの実験区を設置した（表 3）。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肥料成分量を表 3 に示した。

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 3. 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 除草剤と 肥料	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 除草剤と 肥料	4-2 無作業	4-3 石灰窒素
散布袋数 (単位: 袋)	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
	過リン酸石灰	6	6	6	6	0	0	6	0	6
	塩化カリウム	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1.5	0	1.5
	消石灰	4	4	0	0	0	0	4	0	0
	除草剤	+	-	-	-	-	+	+	-	-
肥料成分量 (単位: kg)	N	18.4	18.4	19.5	19.5	0	0	18.4	0	19.5
	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

*除草剤項目において、+: 使用, -: 未使用。

*金額には除草剤代(『サンフーロン』100倍希釈液25ℓ使用より, 525円)を含む。

3.3 植生調査

各実験区への除草，施肥の前に，ブラウン (1971a, b)による植生調査を行った．各実験区の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．採用した被度群度の判定基準を表 4 に示した．調査直前まで調査地にもウシを放牧利用していたため，草高の計測を行わなかった．植生調査を 2013 年秋（処理前の植生，本研究で報告），2014 年の春と秋（来年度に報告）に実施する．

表 4. 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%	

3.4 土壌分析

各実験区への除草，施肥の前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．

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．

3.5 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．ただし，手順①のために，本研究ではウシの重放牧に加え，下刈機とハンマーモアによる掃除刈も実施し，前植生を排除した．

野草とともに牧草が再生するとみられる 2014 年春に，手順③の再放牧を行う予定である．

4 結果

4.1 ワグネルポットによる定量実験

平均収量を図 1 と表 5 に示した．区間それぞれの収量差を多重比較検定 ($P < 0.05$) にて検定したところ，それぞれの差の有意性は表 6 の通りであった．これに従い平均収量を書き表すと， $A < B, G, H < C < F, D, E$ ，ただし $F < E$ となった ($<$: 差が有意)．

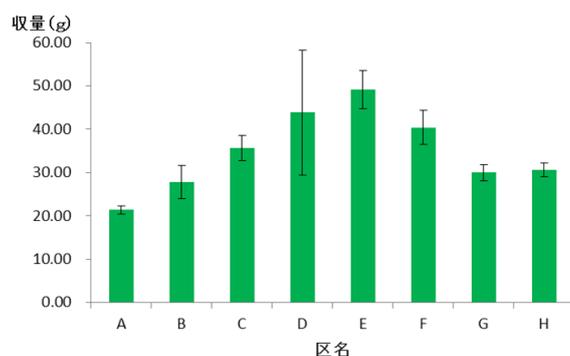


図 1. 区ごとの平均収量

表 5. 区ごとの平均収量

	A	B	C	D	E	F	G	H
収量平均(g)	21.39	27.75	35.63	43.84	49.15	40.41	29.98	30.64
標準偏差	0.99	3.83	2.87	14.37	4.33	3.90	1.84	1.53

表 6. 検定結果 (多重比較検定)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A		+	+	+	+	+	+	+
B			+	+	+	+		
C				+	+	+	+	+
D					+	+	+	
E						+	+	+
F							+	+
G								
H								

*+: 差が有意 (P<0.05)

4.2 簡易更新実験

2013年10月28日～11月11日に、各実験区に対し、石灰窒素散布、除草剤散布、施肥を行った。また、同11月12日に牧草を播種した。

4.3 植生調査

2013年9月26日と9月28日に行った植生調査により全32種を確認し、清水(2005)に従い、植生を牧草、シバ型野草、ススキとササ、不嗜好性野草、有毒野草、その他の野草、木本植物に区分し表7に示した。また全被度に占める区分ごとの被度率を図2に示した。なお、牧草は本調査では見られなかった。この結果から、各実験区における最大被度植物を優占種とし、各実験区をシバ型野草地、ススキ・ササ型野草地、不嗜好性野草地、有毒野草地、その他野草地に区分し図示した(図3)。牧草区と木本区はなかった。全36区のうち、11区がシバ型野草地、13区がススキ・ササ型野草地、3区が不嗜好性野草地、8区が有毒野草地、1区がその他野草地として区分された。

表 7. 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
ヨモギ	<i>Artemisia indica</i>	5	7	2.0	その他野草
ヨメナ	<i>Aster yomena</i>	4	2	1.3	その他野草
ササ類SP	<i>Bambusoideae SP</i>	22	74	2.8	ススキとササ
アメリカセンダングサ	<i>Bidens frondosa</i>	1	+	1.0	その他野草
ナズナ	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	1	+	1.0	その他野草
オランダミミナグサ	<i>Cerastium glomeratum</i>	1	2	2.0	その他野草
カヤツリグサ	<i>Cyperus microiria</i>	1	1	4.0	その他野草
メヒシバ	<i>Digitaria ciliaris</i>	4	16	4.5	シバ型野草
ヤマノイモ	<i>Dioscorea japonica</i>	2	+	1.0	その他野草
オヒシバ	<i>Eleusine indica</i>	12	38	3.9	シバ型野草
キツネノマゴ	<i>Justicia procumbens</i>	4	3	1.3	その他野草
ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i>	1	4	3.0	ススキとササ
カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i>	4	5	2.3	有毒
ヘクソカズラ	<i>Paederia scandens</i>	13	27	2.0	不嗜好性
チカラシバ	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	6	6	1.3	不嗜好性
ヨウシュヤマゴボウ	<i>Phytolacca americana</i>	1	1	1.0	有毒
オオバコ	<i>Plantago asiatica</i>	2	+	1.0	その他野草
イネ科SP	<i>Poaceae SP</i>	5	18	4.2	シバ型野草
ヘビイチゴ	<i>Potentilla hebiichigo</i>	2	1	1.5	不嗜好性
シダ植物SP	<i>Pteridium SP</i>	6	16	2.5	有毒
クズ	<i>Pueraria lobata</i>	6	13	1.7	その他野草
コナラ?	<i>Quercus serrata</i>	1	+	1.0	木本
ウマノアシガタ	<i>Ranunculus japonicus</i>	3	+	1.0	有毒
ハリエンジュ	<i>Robinia pseudoacacia</i>	4	4	1.0	木本・有毒
ノイバラ	<i>Rosa multiflora</i>	1	+	1.0	不嗜好性
ヒメスイバ	<i>Rumex acetosella</i>	16	39	3.3	有毒
ギシギシ	<i>Rumex japonicus</i>	3	1	1.0	有毒
エノコログサ	<i>Setaria viridis</i>	6	15	3.0	その他野草
アレチウリ	<i>Sicyos angulatus</i>	1	2	1.0	不嗜好性
アメリカキンゴジカ	<i>Sida spinosa</i>	3	2	2.0	不嗜好性
セイタカアワダチソウ	<i>Solidago canadensis</i>	7	2	1.0	その他野草
ナンキンハゼ	<i>Triadica sebifera</i>	2	+	1.0	木本
裸地		16	14	non	裸地
			313	2.4	

*被度と群度は度数の合計と平均

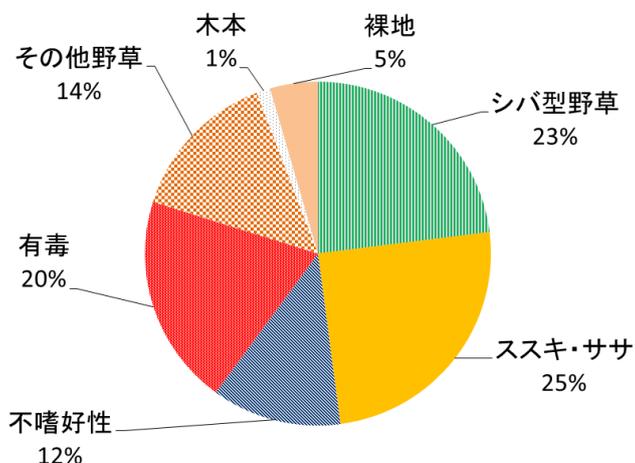


図 2. 植物区分ごとの被度の割合



図 3. 各実験区の優占種とその植物区分

4.4 土壌分析

土壌分析の結果を表 8, 9 に示した. 各実験区の土壌は pH=4.3~6.8 の値を示し, 全体平均は pH=5.3 であった. 各実験区の土壌電気伝導率は 18~133 μ S/cm の値を示し, 全体平均は 46.9 μ S/cm であった.

表 8. 各実験区の土壌 pH

	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3	平均
A	6.2	5.8	-	-	6.3	6.4*	5.3	4.3	-	5.6
B	5.8	6.0	-	-	6.8	6.2	7.1	5.4	-	6.2
C	5.7	5.5	-	-	5.5	4.5	4.6	5.9	-	5.3
D	5.9	6.2	-	-	5.7	4.4	5.2	4.0	-	5.2
平均	5.9	5.9	-	-	6.1	5.0	5.6	4.9	-	5.3

*粘土質であったため、分析から除外

表 9. 各実験区の土壌電気伝導率 (EC)

	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3	平均
A	53	123	-	-	39	500*1	49	133	-	79.4
B	52	21	-	-	27	23	80	56	-	43.2
C	46	89	-	-	18	29	45	25	-	42.0
D	20	21	-	-	28	57	59	32	-	36.2
平均	42.8	63.5	-	-	28.0	36.3	58.3	61.5	-	46.9

*1 粘土質であったため、分析から除外

*単位: μ S/cm

4.5 蹄耕法

2013年11月13日~11月22日にかけて述べ107(頭・日)のウシを放牧した.

5 考察

5.1 ワグネルポット定量実験

堆肥, 元肥, 追肥を施した E 区から最大の収量を得ることができた. 愛知県 (2011) による施肥基準通りの施肥で最大収量を得ることができることを確認できたため, 簡易更新実験についてもこの基準に従い施肥設計を行う.

ただし, 簡易更新実験区を設定した放牧地へは, 堆肥散布機 (マニユアスプレッダー) では侵入できない. 簡易更新実験の施肥区では, 堆肥を入れず, 元肥, 追肥による施肥を行う. ポット実験とは異なり, 急傾斜放牧場を耕起することはできないため, 施肥効果がポット実験のように現れるかは不明である. また, ポット実験では播種から 2 週間目には牧草の根がポット最下部まで達していたことから, 圃場での牧草の生育状態を完全に反映しているとは考えにくい. 今後は, 実際の圃場での実験を繰り返すことで, 牧草の生育に最適な条件, 管理法を検討していきたい.

5.2 簡易更新実験

図 3 より，斜面上部はシバ型野草地，斜面下部はササ型野草地である傾向が見られる．体重 500kg のウシを 1 日体重変化なく養うことのできる能力は草地の牧養力とされ，1CD（カウデー）として表される．本実験区のようなシバ型，ササ・ススキ型野草地の牧養力は 100CD/ha 以下とされ，平坦な牧草地の 500～700CD/ha からは大きく劣る（寺田，2006）．野草地が遷移せず維持されるには適切な放牧圧，草刈，火入れなどが行われる必要がある．本実験区では，36 区画中 8 区画で有毒植物が優占し，3 区画で不嗜好性植物が優占するなど，野草地として見た場合でも，植生の劣化が進行していると考えられる．実験区をこれまでも放牧地として利用してきたことから，踏圧耐性を有する植物や，ウシやヤギに好まれない植物が生き残る方向に植生が変化したと考えられる．

植生区分ごとの土壌 pH と EC を表 10 に示した．シバ型野草地，ススキ・ササ型野草地，不嗜好性野草地，有毒野草地それぞれの間で平均 pH に差はなかった（多重比較検定： $P>0.05$ ）．EC についてはシバ型野草地と不嗜好性野草地間のみ差が有意であった（多重比較検定： $P<0.05$ ）これらの値のみを指標とするならば，ススキ・ササ型草地は不嗜好性野草地や有毒野草地に変化しうると考えられ，管理に一層の注意を要すると思われる．

表 10. 植生区分ごとの土壌 pH と EC

	n	pH	EC
シバ型野草地	7	5.6±0.9	72.0±38.9
ススキ、ササ型野草地	7	5.6±0.5	41.3±23.0
不嗜好性野草地	3	5.4±0.7	32.7±17.3
有毒野草地	5	5.4±0.8	41.4±12.5
その他植物	1	6.8	27.0
平均		5.8	42.9

*pH、ECともに平均値±標準偏差

*ECの単位は $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

実験区の全被度の 38%を有毒植物と不嗜好植物，木本，裸地が占めていた（図 1）．これは草地更新の目安とされる，不良植生の割合 30%以上（寺田，2006）に達していることから，植生は更新の必要性を示唆している．また，愛知県施肥基準（愛知県，2011）によるオーチャードグラス，ペレニアルライグラスを主体とした秋まき混播牧草育成のための推奨 pH は，6.5～7.0 とされる．同様にイタリアンライグラスについては pH=6.0～6.5 とされる．したがって，実験区の平均土壌 pH=5.3 は，牧草生育には不適な状態であると考えられる．加えて，実験区の平均土壌 EC=46.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ は，肥料成分量は極めて少ないことを示唆しており，土壌も劣化していることがわかる．植生，土壌ともに劣化の状態を具体的に確認できたことから，本研究で実施した簡易更新法により，これらの劣化牧草地をどの程度改善することができるのか，今後の調査に期待する．

本研究では植生調査を 9 月に実施したため，春季の植生については考慮していない．春季には牧草であるイタリアンライグラスが生育していたと記憶しているが夏には枯死してした．そのため，今回の結果としては，本実験区は秋季には牧草のない草地であると言える．本研究において，秋季にも生育する牧草種子を播種したため，来年（2014 年）の秋季には牧草が見られると期待される．

また，春季には牧草の他にハルガヤ（*Anthoxanthum odoratum*）の生息を確認している．ハルガヤは牧草として日本に導入されたが，家畜の嗜好性が低く現在は帰化雑草として扱われる．ハルガヤは急傾斜地で多く出現する傾向があり（八谷，2002），貧栄養下で競争力が高いとされる（渡辺，2004）．急傾斜地であり，貧栄養土壌である当放牧地はハルガヤの増殖に適した条件になっていると思われる．実際に，名古屋大学設楽フィールドにおける調査（築地原ほか，2013）では，ハルガヤやヒメスイバが優占種となった放牧地が報告されている．本研究においてもヒメスイバは 16 区で生息し，うち 4 区では優占種となっていた．設楽フィールドの放牧地も，東郷フィールドと同様に急傾斜地であり，土壌 pH も 4.0-5.2 のように酸性化が進んでいる．ヒメスイバを含む草地は遷移の老齢期に当たり劣化しているとされ（沼田，1978），東郷フィールドにおいても牧草地を放置すれば，今後ヒメスイバの分布が拡大すると予想される．定期的に放牧

地状態を調査し、適切な管理を行い牧養力の低下を最低限にとどめ、持続可能な放牧地利用を目指したい。

6 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なる技術指導をいただきました、前坂昌宏技術専門員に厚く御礼の意を申し上げます。

なお、本研究は平成 25 年度名古屋大学技術研鑽プログラムによる資金援助により遂行された。

参考文献

- [1] 愛知県. 2011. III作物別施肥基準 6 飼料作物. 農作物の施肥基準 (愛知県), pp. 91-95. 愛知県, 愛知.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 藤原俊六朗. 2013. 図解土壌の基礎知識. 農山漁村文化協会, 東京, 172pp.
- [7] 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. 日本土壌肥料学雑誌 41 : 377-382.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] JA 全農肥料農薬部. 2010. だれにでもできる土壌診断の読み方と肥料計算. 農山漁村文化協会, 東京, 101pp.
- [11] 沼田真. 1978. 草地調査法ハンドブック. 東京大学出版会, 東京, 145pp.
- [12] 寺田文典. 2006. 第 5 章 草地利用と保全. 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. 230-245. 講談社, 東京.
- [13] 築地原延枝・安藤洋・吉村文孝. 2013. 設楽フィールドにおける放牧草地の植生と放牧利用について. 第 8 回名古屋大学技術研修会ポスター発表本稿, PSEI-4: 1-8.
- [14] 渡辺也恭・八谷絢・西脇亜也・板野志郎・菅原和夫. 2004. 放牧地利用人工草地におけるハルガヤ (*Anthoxanthum odoratum*. L) とミノボロスゲ (*Carex albata* Boott) の生育環境. Grassland Science 49:611-615.
- [15] 八谷絢・佐藤衆介・菅原和夫. 2002. 放牧利用人工草地へのハルガヤの侵入要因. 日本草地学会誌 48 (別) : 8-9.