

第I章 緒 言

第1節 本研究の背景と目的

1. 国内の粗飼料生産におけるチモシーの重要性

北海道は、チモシー (*Phleum pratense* L.) の主な生産地である北欧諸国やカナダなど[2]と比べ低緯度に位置するにもかかわらず、牧草の越冬にとって厳しい自然環境にある。しかし、チモシーは、寒地型牧草の中でもとくに越冬性に優れるため、北海道において、道央、道南、道北地域のみならず、とりわけ道東の根釧地方のように、夏期は寒冷・寡日照、冬期は寡雪・寒冷で土壌が凍結し、チモシー以外の主要なイネ科草種では冬枯れ被害が多発する危険性の高い地域においても、十分に越冬することができ、そのため毎年安定して乾物多収を得ることができる[189]。一方、チモシーはその生育型から、本来の乾物生産力を活かすには、主として採草利用に適した草種であるが[26, 160]、上述のように越冬性に優れることから、ペレニアルライグラス (*Lolium perenne* L.) のような放牧適草種[130]が越冬困難な土壌凍結地帯を中心に、放牧でも利用されている[147]。

チモシーはオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L.) やメドウフェスク (*Festuca pratensis* Huds.) と比較して、とくに5-6月の長日条件となる時期に生育する1番草において、収穫期(出穂期)までの生育期間が長く、窒素施肥量の増加に伴う増収効果、ならびに個体群生長速度(CGR)、葉面積指数(LAI)が高く、多収を示す[68]。また、チモシーは、年間合計乾物収量に占める割合が最も高い1番草がとりわけ多収であることから、年間合計収量についても、オーチャードグラス、メドウフェスクより多収となる[95]。これらの知見は、北海道の草地におけるチモシーの基幹草種としての優位性を示すものである[95]。他方、チモシーは、家畜の嗜好性や採食性にも優れており、そのため酪農家はチモシーの作付けを好む傾向にある。

北海道の飼料用としての牧草の作付(栽培)面積は約55万ha(平成22年度)であるが、これは国内の全作付面積約76万haの約73%を占めている(農林水産省「作物統計」)。一方北海道内における近年のチモシーの種子需要量は、イネ科牧草全体の90%前後(平成22年度は約87.8%)で推移していることから、新播草地の9割近くはチモシーが作付けされていると推

測される。また、チモシーは、北海道だけでなく、東北地方や本州の高標高地など越冬性が問題となる地域では有用な草種であり、本州でも東北を中心に複数の県で奨励品種に採用されている。以上のように、チモシーは我が国、とくに北海道の粗飼料生産において極めて重要な役割を果たす草種の一つとなっている。

2. 飼料自給率向上の重要性

酪農とは本来、「土-草-牛」の生態系(生産者、消費者、分解者)における自然の物質循環を利用する営みであることが言われてきた[96]。しかし近年の酪農現場の実態の多くは、乳牛の泌乳能力が向上し、給与する可消化養分総量(TDN)の多くを安価な輸入穀物(濃厚飼料原料)に依存してきたため、乳牛の疾病や糞尿による環境汚染などが大きな問題となってきた[96, 138]。そのような中、2007年以降は、輸入穀物価格や肥料など農業資材価格が高騰し、農家経営を圧迫することとなった。これらのことから、畜産農家の経営を安定化させ、消費者にも安全で安価な畜産物を供給するためには、これまでの濃厚飼料依存型の酪農から、自給飼料依存度の高い土地利用型酪農への転換を図ること、そのための飼料(TDN)自給率向上の重要性が改めて強く認識されるようになった。飼料自給率を高めるには、生産される粗飼料の品質向上と良質粗飼料のさらなる増産を図ることが重要である[173]。

3. 草地の生産力と草種構成との関係

一般に草地は経年化に伴い生産力が低下する[85]。経年化に伴う主要な低収要因は、草地の基幹草種であるチモシーの減少とケンタッキーブルーグラス (*Poa pratensis* L.) やレッドトップ (*Agrostis alba* L.) などの増加[139]に象徴される草種構成の悪化による施肥反応の低下であると考えられている[88]。一方、草地の牧草生産力は、土壌や施肥の条件よりも草種構成により強く支配され、低収草地はチモシー被度が50%を下回り、植生不良率(ケンタッキーブルーグラス、レッドトップ、広葉雑草の冠部被度と裸地割合の合計値)が30%以上の草地であった[90]。しかし、そのような草地では施肥量を増加しても増収効果がほとんど認められない[90]。このことは、たとえ造成後の経過年数が短くても、草種構成が悪化すれば、牧草生産力の回復は困難となることを示している[90]。これに対して、少肥高収草地では、マメ科草被度が30%程度と高く、しかもチモシーが50%を確保した良好な草

種構成であった[90]。一方、チモシーは単播で利用するよりもマメ科牧草との混播草地として利用すれば、粗飼料の栄養価および泌乳牛の乾物摂取量が増加する[140]。

これらの報告は、良質粗飼料を生産する草地として好ましい草種構成とは、基幹イネ科牧草割合が50%以上維持され、雑草の進入や裸地の割合が少ないことであり、さらにはタンパク質やミネラル給源となるマメ科牧草が十分に維持されることであることを示している。

従来、北海道の牧草地における強害雑草として、いずれも多年草のセイヨウタンポポ（*Taraxacum officinale* Weber）、エゾノギシギシ（*Rumex obtusifolius* L.）、シバムギ（*Agropyron repens* (L.) P. Beauv.）があげられてきた[41, 104]。エゾノギシギシは大型雑草であり、牧草と競争関係を生じる可能性が大きい[114]。シバムギは不嗜好性植物であり[114]、家畜の摂取量が劣る[145]。近年、サイレージの不良発酵の大きな原因として、草地におけるチモシーの割合が低下し、シバムギやリードカナリーグラス（*Phalaris arundinacea* L.）のような地下茎型イネ科草が優占している事例の多いことが報告されている[145]。シバムギやリードカナリーグラスはチモシーと比べ単少糖含量が少なく、溶解性タンパク質（SIP）含量、サイレージの揮発性塩基性窒素（VBN）含量が高いなど、発酵品質が劣りやすい特性を有している[145]。龍前ら（2010）[145]は、これら地下茎型イネ科草が優占した草地におけるサイレージ不良発酵の対策として、草地更新による草種構成の改善が望ましく、更新に際しては更新前の除草剤散布が不可欠であると述べている。一方根釧地方でも、近年、更新後数年でシバムギを主体とするこれら地下茎型イネ科草割合がチモシーよりも多くなる草地がみられる[151]。またその最大の要因は、更新時の雑草対策の不備であり、除草剤利用を主とした雑草対策の重要性が明らかにされている[151]。

4. 本研究の目的

以上のように、草地の生産力が高く維持され、生産される粗飼料の品質が良質であるためには、草地の草種構成が良好に維持されなければならない[90, 145]。とりわけ北海道では、草地の生産力や粗飼料品質の低下は、基幹イネ科牧草として広く利用されているチモシーの構成割合、すなわち草地におけるチモシーの密度の低下と密接に関連しているといえよう。北海道における草地更新率は、近年、年率4%を下回るほどに

低迷していることから、粗飼料の生産性や品質の維持、向上にとって、草地における基幹草種チモシーの密度がより長い年月に渡って高く維持されることが望ましい。なお、草地におけるチモシーの密度維持とは、その分けつ密度が維持されることに等しい。

そこで、本研究では、草地におけるチモシーの永続的な維持を可能にするため、草地の経年化に伴うチモシーの分けつ密度維持の機構と、分けつ密度維持を阻害する主要因についてその影響の実態を明らかにし、それをもとにチモシーの分けつ密度をより長期に渡って維持するための具体的な方策を提示することを目的とした。

第2節 既往の知見と本研究の進め方

1. 高密度で播種される永年草地における「個体」密度と「分けつ」密度の関係

チモシーをはじめとする叢生型[118, 121]の多年生イネ科牧草は、栄養繁殖（クローン生長, clonal growth）を行うことができ、1粒の種子に由来する個体（「ジェネット（genet）」[67, 103, 136, 183]）は、経時的に分けつ茎（以下分けつ）を増やし、やがて多数の分けつ（「ラメット（ramet）」[67, 103, 183]）から構成されるようになる（図I-1）。ラメットは生理的・生態的に独立して生存、生活できる単位である[67, 183]。植物個体群生態学では、ジェネットとラメットのいずれをも「個体」の単位として用いる場合がある[67, 103, 136, 183]。

ジェネット密度とラメット密度の関係について、澤田ら（1985）[157]は、圃場で散播したチモシーの個体（ジェネット）数は初期に減少したが、個体当たり分けつ（ラメット）数は時間の経過とともに増加したことを報告した。イネ科植物は一般に、非常に少ない分けつをつくる多数の個体からなる個体群から、分けつ数の比較的多い比較の少数の個体からなる個体群へと次第に変化していく[67]。このとき、単位面積当たり個体数は経年的に減少するが、個体当たりの分けつ数は栄養繁殖により増加し、分けつ密度は一定に保たれる[67]。個体による分けつの形成は密度依存的（density-dependent）に起こることから[67]、個体数が毎年減少しても分けつ密度は同程度に収束することができると考えられている[67]。

一方、イネ科牧草を主体とする草地において収穫対象とされる茎葉（栄養体）の収量は、単位面積当たり

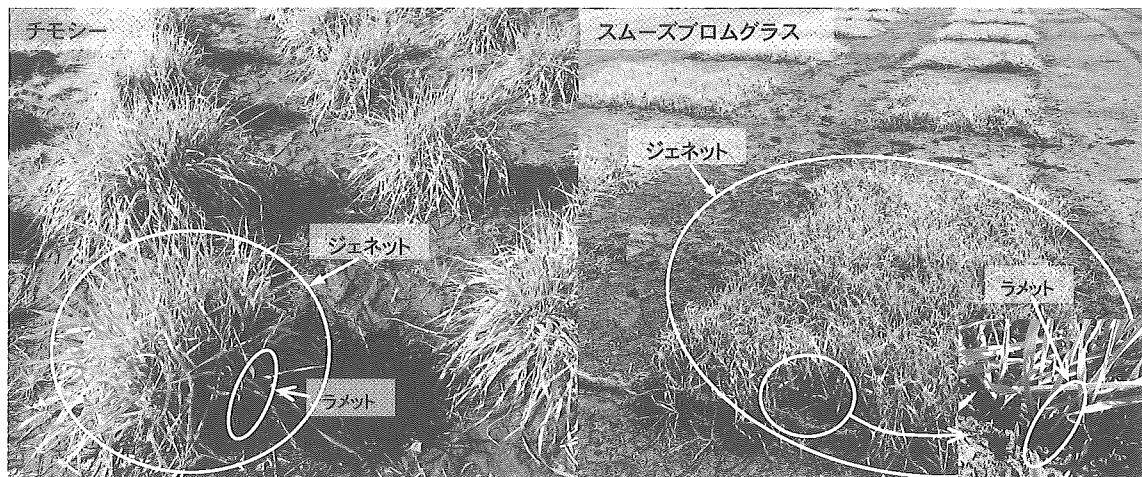


図 I-1. イネ科牧草におけるジェネットとラメットの事例（北見農業試験場圃場）。

ジェネットは1粒の種子に由来する株。ラメットは、チモシーは分げつ、スムーブフロムグラスは伸長した地下茎に由来し地中から出芽するシュート。ジェネットはラメットの集合である。チモシー：品種「キラタツ」の種子から苗を養成し、畦間0.75m×株間0.6mの間隔で移植した。移植後2年目（2012年）10月26日撮影。スムーブフロムグラス：品種「フーレップ」の各構成親（栄養系、クローン）からシュートを分離して畦間3.0m×株間3.0mの間隔で移植した。移植後5年目（2012年）10月26日撮影。ジェネットとジェネットの間は定期的に耕起し、異なるジェネットの地下茎の混入を防いでいる。チモシーは年間2回、スムーブフロムグラスは年間3回の刈取りを行った。

の分げつ数（分げつ密度）と分げつ1本当たりの重さ（茎重）の積として捉えられる[55]。また、結局のところ、チモシーのような叢生型のイネ科牧草では、個体（ジェネット）の枯死はそれを構成する分げつ（ラメット）の枯死に起因する。あるいは、分げつ（ラメット）の増殖が不可能となれば個体（ジェネット）はやがて枯死し、草地におけるチモシーの構成割合は低下していく。

したがって、チモシーの密度の調査研究に際しては、一粒の種子に由来するジェネットを追跡調査の対象とするよりも、生理的・生態的に独立して生存、生活できる単位であるラメット（分げつ）をその対象とし、その数の増減を明らかにする方がより实际的である。

2. 叢生型の多年生イネ科牧草における分げつ密度の経年的維持の機構

チモシーのような叢生型[118, 121]の多年生イネ科牧草は、植物体としては多年生であるが、その構成要素である個々の分げつをみればその寿命は限られている。例えば、ペレニアルライグラスでは分げつが出現してから枯死に至るまでの寿命が5-7か月と推定されている[8]。また、メドウフェスクでは、穂を形成した分げつは、その出現から開花までの期

間が3か月のものから33か月に達したものまで広範囲に及んだ[78]。オーチャードグラスでは、出穂期前後の1番草刈取後に刈株から発生した分げつの多くは弱勢で、多くは夏期高温下で枯死したが、一方で、秋期に発生した分げつの多くは、翌年1番草刈取後もかなりの割合で栄養生長を続けて残存し、その多くが秋まで生存した[53]。チモシーでは分げつの寿命は1年以内であるとする報告[67, 79]のほか、多くの分げつが有穂茎として刈り取られ枯死する時期が6-7月であることや、栄養茎の生存期間は1-12か月に及ぶが刈取頻度が高いとまれに12か月を越えるものも認められるとした報告[63]がみられる。Briske(2007)[1]は、大部分の多年生イネ科草の個々の分げつは、最大で2年の寿命を持つが、その多くはそれが出現した生育季節（growing season）においてのみ生存できるとしている。これらの知見は、分げつの発生から枯死に至るまでの寿命は、草種や栽培環境によって異なることを示している。また、これらのことから、各イネ科草種の多年生的性格や草地の持続的な生産力は、枯死した分げつが新しく発生する新分げつに置換することに基づいているといえる[1]。

すなわち、草地における基幹イネ科牧草の分げつ

密度が経年的に維持されるには、既存の分けつが枯死しても、それと置き換わる新しい分けつが発生して補充 (recruitment) されなければならない。いわゆる新旧分けつの世代交代が確実に成し遂げられる

ことが不可欠であり、もしこのような分けつの置換が自然の出来事や不適切な管理によって妨げられるなら、分けつ密度は大きく低下する可能性がある [1]。

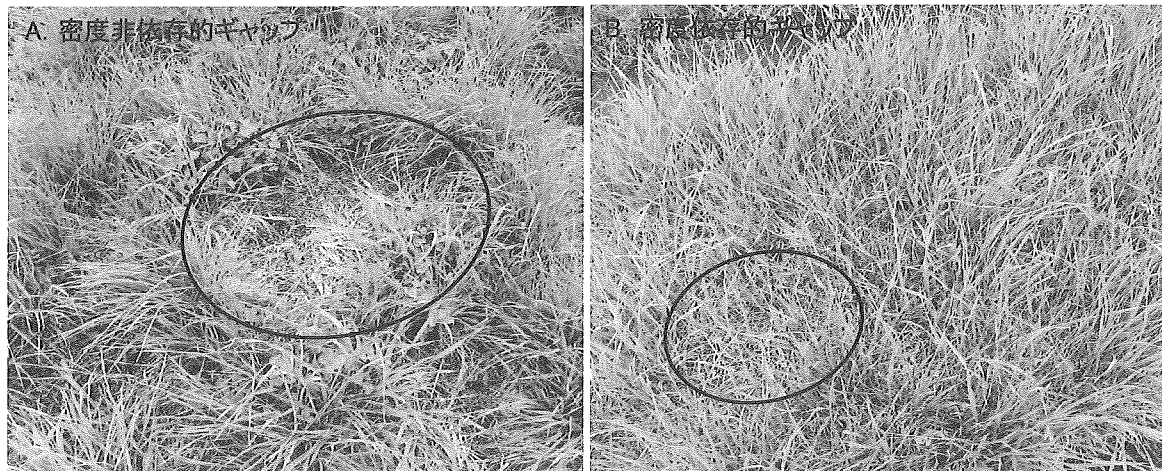


図 I-2. チモシー草地 (採草利用) におけるギャップの事例 (北見農業試験場圃場)。

A: チモシー・アカクロバ混播草地 (播種後 4 年目 (2012 年) 5 月 9 日)。播種後 2 年目 1 番草で刈取りが遅れ、倒伏により地際が過湿状態となり、牧草個体が腐敗枯死した。とくに 2 番草では生育しても草冠部はチモシーによって完全に塞がれることがなく、日光が入射しギャップ内に夏型一年生雑草が生育する。

B: ほぼチモシーだけから成る草地 (播種後 3 年目 (2012 年) 5 月 9 日)。窒素施肥量が北海道施肥標準 [35] よりやや少ない。地際にわずかな空隙が見られるが、生育に伴い草冠部はチモシーで覆われる。年間を通して収量に占める雑草の割合は極めて少ない。

3. 草地における基幹牧草の枯死によるギャップ (空隙, 裸地) の形成

何らかの原因によってチモシーの分けつの枯死が生じ、草地におけるチモシーの密度が減少すれば、ギャップ (gap, 空隙, 裸地) が形成される。形成されたギャップがチモシーの再生や生育に伴い速やかに塞がれる程度の大きさのギャップであれば、草地の生産力にはあまり影響を及ぼさない。しかし、生育しても塞ぐことのできない大きさのギャップである場合には、被度が低下し草地の生産力は低下すると考えられる。また、牧草地の雑草は、元々の優占種が枯死した後に形成されたギャップに侵入する [118]。侵入雑草がチモシーの生育を抑圧することになれば、チモシーの密度はさらに減少し、草種構成は悪化し、草地の生産力は一層低下していくことになる。

根本 (1997) [116] は、牧草地に形成されるギャップは、その大きさが数 cm^2 ~ 数 m^2 とかなり変異の幅が大きい、密度依存的ギャップ (density dependent gap, DDG) と密度非依存的ギャップ (density independent

gap, DIG) の 2 つに大きく分類して捉えると理解がしやすいとした (図 I-2)。密度依存的ギャップとは、自己間引き (種内競争) [1, 11, 67, 76, 188] のような密度依存的調節によって形成されるギャップで、周囲に生育する牧草茎葉の再生によって塞がれるギャップである。一方、密度非依存的ギャップは、過放牧や機械による損傷などの不適切な草地管理、病気や昆虫の被害による枯死、冬枯れによる枯死など、何らかの外的要因 (「密度非依存的な要因」 [67]) によって優占牧草が枯死することにより形成される比較的サイズの大きなギャップである [116]。密度非依存的ギャップは、その形成要因が様々であるだけでなく、形状の変異が非常に大きく、牧草が再生しても速やかに塞ぐことのできない、あるいは完全に塞ぐことは難しい大きさのギャップである。このため、ギャップ内の埋土種子や他から侵入してきた雑草種子が発芽し、定着できるようになる [116]。

草地の生産性維持のため、分けつ密度の維持を図るには、このようなギャップ、とくに密度非依存的ギャ

ップの形成を防ぐことが重要になると考えられる。とくにチモシーは、刈取後の再生が緩慢で、低温以外の環境ストレスには概して強くない。そのため、雑草が侵入、定着できる臨界ギャップサイズ[116]が他の寒地型イネ科草種より小さい可能性がある。

4. 草地において植物体の生育抑制や枯死をもたらす外的要因（攪乱、競争およびストレス）

植物体の生育量の減少や枯死をもたらす外的要因は、研究分野が異なると、その中身は類似したものであっても異なるとらえ方がなされる。植物生態学では、そのような要因は、攪乱、競争、ストレスに分類されることが多い[1, 118, 119, 183]。植物生態学では、種多様性の研究に際し、植物群落における多種共存のメカニズムを明らかにする必要性から、種をその生活史戦略に基づいて攪乱依存種、競争種、ストレス耐性種などと定義付けする場合がある。これに対し、農耕地に作付けされる特定作物種の個体や個体群を研究する作物学や植物育種学では、そのような要因は病害虫と環境ストレスである[17]。両要因は生物的ストレスと非生物的ストレスに分類されることもある[171]。牧草では生物的ストレスとして病虫害だけでなく、植物種間の相互作用（種間競争、他感作用など）、放牧家畜の影響[1]なども該当し、非生物的ストレスとして、夏枯れ（本州以南）、冬枯れ（北海道などの寒地・寒冷地）、その他の気象災害、機械による損傷（物理的破壊）、施肥、刈取りなどが該当すると考えられる。ただし、夏枯れは葉腐病（*Rhizoctonia solani* Kuhn）、冬枯れは雪腐病（雪腐大粒菌核病（*Myriosclerotinia borealis* (Bubak et Vleugel) Kohn）など）にも起因することから、その意味では生物的ストレスであるとも考えられる。したがって、生物的ストレスは植物生態学におけるストレスと競争の内容を含み、非生物的ストレスはストレスと攪乱の内容を含んでいるとみなすことができる。

普通作物は、一般に農耕地において単作で栽培されるのに対し、人工草地は複数草種が混播されることが多く、たとえ単作（単播）で作付けしても年月の経過に伴い多くは雑草が侵入する。草地は人工的に作った植物群落であるともいわれる[138]。人工草地では草種構成を適正に維持する必要がある。そのためには草種間の競争関係を制御するため、施肥や刈取りなどの人為的な攪乱を適当な頻度や強度で加える必要がある。一方、普通作物よりも粗放な管理条件に置かれるため、夏期の高温による再生不良、冬期の寒さによる冬枯れなど、立地する自然の環境ストレスの影響にも

留意する必要がある。これらのことから、草地生態系の一構成種としてのチモシーのような牧草の場合、その密度の低下要因（淘汰圧）は、植物個体群生態学的な観点から、攪乱、競争、ストレスに分類し、検討することが有益である。

チモシーの分けつ密度を維持する対策として、草地の維持管理（生育環境の制御）技術の改善、草種の遺伝的改良（品種改良）のいずれを適用する場合においても、これら種々の要因に対する対象草種の生育反応、すなわち草種の生育特性を十分に理解した上で実行に移すことが望ましい。しかしながら分けつ密度の減少を誘発しうるこれら各要因に対する生育反応に関して、チモシーに関する研究報告は少ない[20–23, 45]。また、チモシーの主要栽培地帯である北海道東部における研究は冬枯れなどに限られている[125, 128]。

5. チモシーの分けつ密度を低下させる可能性のある外的要因

本研究では、チモシーの個体群において、密度非依存のギャップの形成をもたらすような外的要因について、検討を行うこととした。

チモシーのような上繁草は、刈取後の再生初期（依存再生期）に重要となる貯蔵炭水化物の刈株（茎葉基部）における蓄積に比較的時間がかかる[154]。チモシーは刈取時の生殖茎/栄養茎の比率が高いこと[154, 155]、分けつ力がライグラス類などと比べると劣っていること[154]、出穂期の刈取りでは刈株に残葉が少ないことなどから、再生が劣り、高頻度の刈取りや強度の放牧では不利であるとされている[154]。また、チモシーのような直立型草種は、刈取後の残存部分が小さいため、刈取り抵抗性は劣ると考えられている[160]。そのほか、チモシーは、長日条件さえ満足すれば2番草でも節間伸長することから、頻繁な刈取り利用に不適で、1回当たりの刈取り収量が多くなるような利用法が適しており[160]、年間の刈取り回数は2–3回とやや少なめにすることが望ましいといわれている[26]。したがって、チモシーは、その形態的、生理的特性に起因して、イネ科草種の中では刈取後の再生が劣る草種であり[154]、高頻度の利用には適応性の低い草種である。

一方、能代ら（1981）[127]は、極早生、早生および晩生のチモシー品種を供試し、年間4回の刈取りを行ったところ、いずれの品種も単播栽培では分けつ密度の経年的な減少は認められなかった。しかし、ラジノクローバ混播栽培では、播種翌年にはチモシーが著しく衰退したと報告した。また、チモシー早生品種は、

根釦地域の採草地では「カリフォルニアラジノ」のようなラジノ型シロクロバ品種との混播が可能である[37, 107]。しかし、早刈り（穂孕期-出穂始期刈り）を3年間継続して行くと、単播では茎数の減少はなかったのに対し、ラジノクロバが30-50%の割合で存在する混播草地では、チモシーの茎数が減少したとされている[75, 146]。したがって、チモシーにおける分げつ密度の減少は、隣接して存在する他草種との競争[51, 61, 170]の影響が大きな要因となることが予測される。

他方、チモシーは乾燥に弱く、夏季に高温・干ばつが起りやすい土地には適さない[189]。世界的にみてチモシーの作付けを制限する要因は、干ばつや高温のストレスといわれている[2]。北海道北部に位置する天北地方は、6-7月の水収支が負（降水量<蒸発散量）となり、牧草生産において降水不足をきたす[99]。とりわけ5月上旬-8月上旬は、降水量の年次間の変動係数が50%以上とすこぶる大きく[98, 99]、オーチャードグラス・シロクロバ混播草地の1, 2番草では、生育期間中の積算降水量が収量の規制要因になっていた[98]。また、根釦地方に分布する黒ボク土に比較して、明らかに水分供給力の劣悪な褐色森林土や灰色台地土などのいわゆる重粘土が広く分布し、干害を助長する[98-100]。中辻（2008）[112]は、北海道北部では強度の低水分ストレスは2-4年に一度の頻度で発生しているとした。

一方、干害の発生は作物の生育段階によって異なる[17]。生殖生長中の植物では栄養生長中の植物のように、根の生長により水分摂取を顕著に増大することができない[120]。長日植物であるチモシーは、6-7月の長日条件下で斉一に節間伸長する傾向が強く、刈取後は通常、既存分げつの多くが再生不能となり、再生草の生産は主として新分げつの増殖と生長に依存する[14, 154]。新旧分げつの大幅な交代が生じるこの時期は、とりわけ干害を被りやすいと考えられるが生育ステージと干害との関係を明らかにした報告は少ない[25]。

本研究では、これら既往の知見から、利用（刈取り）頻度の増加、他草種の混生下における草種間競争、ならびに土壤水分の不足を取り上げ、各要因がチモシーの分げつ密度維持に及ぼす影響について検討することとした。なお、植物個体群生態学における淘汰圧のうち、刈取りは人為的な攪乱、草種間競争は競争、土壤水分の不足は環境ストレスの一つとみなすことができる。

そのほか、チモシーの分げつ密度を減少させる恐れのある外的要因として、窒素施肥量や冬枯れなども考えられる。オーチャードグラスやチモシーでは窒素施肥量の個体密度に及ぼす影響は、とくに高窒素条件において個体密度の減少が著しかった[46, 188]。しかし施肥量に関しては、北海道施肥標準[35]に準拠した適切な施肥管理によって分げつ密度維持に及ぼす悪影響は回避されると考えられるため、本研究では扱わない。また、チモシーは寒地型イネ科草種の中で、最も越冬性に優れる草種であることから、冬枯れについても本研究では考察のみにとどめた。

6. チモシー草地の利用管理の現状と既往の草地生産性の維持対策

これまで、北海道では、チモシーの基本的な栽培管理法、すなわち草地の造成・更新[35, 39, 85]、施肥管理[35, 70-72, 86, 91, 92, 149]、刈取り管理[42, 74, 75, 101, 146]、雑草管理[85, 168, 169, 187]に関する多くの基本技術が開発、提示されてきた。チモシー草地の良好な草種構成と生産性を長期的に維持する技術として、マメ科牧草混生割合と土壌診断に基づいて施肥量を決定する施肥改善の手法が有効であることも示されている[86]。本来の栽培管理は、チモシーの作物的特性を十分に理解した上で、合理的な管理がとられるべきである。しかし、実際の酪農現場では、飼養規模拡大等に伴い、粗飼料生産を担う草地の管理に注ぐことのできる労力やコストが不足し、これらの基本技術が励行されていないケースが非常に多く[42, 132, 151]、そのことが草地の生産性低下や基幹草種の維持年限短縮の大きな原因となっている。このような状況下において、草地に導入するチモシー品種の遺伝的能力の改良は、農家ごとに様々な栽培環境下における生産性を一律に向上させる点で極めて効果的と考えられる。育種は、それまで作付けが困難であった環境条件下でも作物の作付けを可能にできる特徴的な技術である。

7. 本研究の進め方

本研究では、これら既往の知見にもとづき、チモシーの密度の調査に際しては、主として「分げつ」を追跡調査の対象として扱うこととした。そして、草地におけるチモシーの分げつ密度の経年的維持の機構として、新旧分げつの季節的交代の実態について、国内の主要栽培地域である北海道において、代表的な複数品種を供試して明らかにする。さらに、チモシーの分げつ密度維持を阻害する要因として、密度非依存的ギャップを形成するような外的要因を想定し、利用

(刈取り) 頻度の増加, 他草種の混生下における草種間競争, ならびに土壤水分の不足を取り上げ, 各要因がチモシーの分げつ密度維持に及ぼす影響について明らかにする。最後に, 草地におけるチモシーの分げつ密度維持対策として, 適切な品種の選定や育種, すなわち草地に導入する品種の能力向上による対応の可能性について明らかにする。

第3節 用語の定義

本節では, 本研究で用いた学術用語のうち, とくに定義を明確にしておくべき用語について記述する。

1. 個体, 株, 個体密度, 株数密度, 分げつ, 茎, 分げつ密度, 茎数密度, 密度

本研究では, 「個体」はジェネット (1 粒の種子に由来する個体, 複数のラメットの集合体, 株) [67, 103, 136, 183] を意味し, 「個体密度」はジェネットの密度を意味する。また, 「分げつ密度」はラメット [67, 103, 183] である分げつの密度を意味する。一方, 単に「密度」と記述している場合は, ジェネット密度とラメット密度の区別をせず, 両方の意味を包含していることを示す。

そのほか, 引用した文献によっては, 「株数」, 「株数密度」, 「茎数」, 「茎数密度」の用語が使用されているが, 「株」は「個体 (ジェネット)」と同義であり, 「茎」は分げつ以外に主茎を含む総称であるが, 主として「分げつ (ラメット)」と同義であるとみなすことができる。しかし, 本論文ではこれらの用語について言い換えは行わず文献中の記述のまま引用した。

2. 個体群 (集団) と群落

「個体群」 (population) は同種の集まり, 「群落」 (community) は種の異なるものの集まり [1, 138] を指すこととした。なお生態学では英語の population は「個体群」と訳されるが, 遺伝学では「集団」と呼称されるのが慣例である [136]。本研究では, 分げつの集まりを「分げつ集団」 (tiller population) と記述した。

3. 分げつの生育段階と形態による分類

分げつ調査時における分げつの生育段階および形態による分類方法については, 第Ⅱ章において詳述した。

4. 欠株

条播栽培した場合において, 畦が長さ 10cm 以上に渡って枯死したとき, あるいは枯死によって裸地となっ

たとき, 「欠株」とした。

5. 攪乱

植物体の一部または全体を破壊するような外力 [183]。自然災害のような自然的な攪乱と踏み付け, 刈り払いのような人為的な攪乱がある。攪乱は規模, 頻度, 強度により特徴付けることができる [178]。

6. 雑草

本研究では根本 (1990) [114] の牧草地雑草の定義に従い, 「播種した牧草以外の植物」を雑草と定義した。

7. ギャップ (gap)

植被のない空き地 [183]。草地の最上層を覆っている牧草などの葉層が何らかの原因で欠如するために生じる空間 [116]。

第Ⅱ章 材料と方法

第1節 供試材料

チモシーを主な供試材料とし、一部の試験ではメドウフェスクを対照として用いた。また、種間競争の影響調査のために行った混播試験では、チモシーの混播相手草種として、シロクロバ (*Trifolium repens* L.), アカクロバ (*Trifolium pratense* L.), ガレガ (*Galega orientalis* Lam.), オーチャードグラスを供試した。供試した品種・系統は次の通りである。

第Ⅲ章：圃場実験では、チモシー早生品種「ノサップ」、晩生品種「ホクシュウ」、ポット栽培による実験ではチモシー中生品種「キリタツ」を供試した。

第Ⅳ章：チモシー「ノサップ」、「キリタツ」、「ホクシュウ」のほか、メドウフェスク早生品種「トモサカエ」を供試した。これらイネ科牧草品種との混播相手マメ科牧草品種として、シロクロバ中葉型品種「ラモーナ」、「ソーニャ」、アカクロバ晩生品種「クラノ」、ガレガ早生品種「こまさ」と184」を供試した。

第Ⅴ章：チモシー極早生品種「クンプウ」、早生品種「ノサップ」、「オーロラ」、「ホライズン」、早生系統「北見26号」、「北系04306」、中生品種「キリタツ」、晩生品種「ホクシュウ」、チモシーの早生の栄養系の多交配後代28系統、中生および晩生の栄養系の多交配後代54系統を供試した。また、チモシーとの混播相手マメ科牧草品種として、シロクロバ「ラモーナ」、「ソーニャ」のほか、シロクロバ小葉型品種「リベンデル」、混播相手イネ科牧草品種として、オーチャードグラス極晩生品種「トヨミドリ」を供試した。

第2節 耕種法

1. 播種量、栽植方法および試験区の配置

圃場実験におけるa当たりの播種量は、原則として、チモシーが150-200g、メドウフェスクは200gとした。また、混播相手とした各草種のa当たりの播種量は、シロクロバは30g、アカクロバは30g、ガレガは60g、オーチャードグラスは200gとした。播種法は、原則として、単播試験では畦間30cmの条播、マメ科牧草との混播試験では散播で行った。1試験区面積は、条播試験では3.0-9.0 m²、散播試験では6.0 m²、試験区の配置は乱塊法とし、反復数は3-4反復とした。試験設計がこれらと異なる場合には、本文中に記載した。

2. 施肥量および施肥配分

圃場実験では、造成(播種)年における施肥は、原則として北海道施肥標準[35]に準拠した施肥量を施用し、刈取りを行った場合には、刈取り回数に応じて各試験地の慣行で追肥を行った。なお、試験地によっては、造成時に土壌改良資材として、a当たり堆肥400kgおよび炭酸カルシウム30kg、または炭酸カルシウム20kgおよびダブリン3kgを施用した。

また、主な調査年とした播種後2年目以降の施肥についても、原則として北海道施肥標準に準拠して行い、施肥量は、チモシー単播またはチモシーと他のイネ科牧草との混播試験では、a当たり年間合計施肥量として窒素(Nとして、以下同様)1.20-1.80kg、リン酸(P₂O₅として、以下同様)0.60-0.94kg、カリウム(K₂Oとして、以下同様)1.20-2.07kgを施用し、チモシーなどイネ科牧草とマメ科牧草との混播試験では、a当たり年間合計施肥量として窒素0.60-0.88kg、リン酸0.88-1.34kg、カリウム1.75-2.91kgを施用した。分施の時期および配分については、各試験地の慣行に基づいて行った。

ポット(1/2,000a)栽培による実験では、いずれもa当たり年間合計施肥量として窒素1.50kg、リン酸0.60kg、カリウム1.50kgを施用した。刈取回数にかかわらず、年間2回刈りの場合の早春と1番草刈取後に相当する時期の2回に分けて均等に施用した。

第3節 調査項目、調査方法および調査基準

1. 分げつ数、乾物重、生育段階および形態

(1) 条播試験における畦の掘り取り採取による調査 (第Ⅲ章第1節実験1、第2節実験1、第Ⅳ章第2節第2項)

1 m²当たり分げつ数(本)、1 m²当たり地上部乾物現存量(以下現存量, g)、分げつ1本当たり平均乾物重(以下平均1茎重, mg)を調査した。試験区内の生育中庸な地点1か所を選定し、長さ10cmに相当する畦を周囲の土壌とともに包丁で正確に掘り取り採取した後、土壌を水洗し、前回の刈取後新葉を再生しなかった分げつ、枯死分げつおよび根を切除して調査に供した。試料は反復ごとに採取し、データは4反復の平均値を用いた。なお平均1茎重は、試料の現存量÷分げつ数×1,000として求めたが、分げつを生育段階で区分した場合、調査時期により当該生育段階の分げつ数が0本となる反復が認められたので、その場合はデータが得られた反復の平均値を示した。

(2) 立毛状態における調査(第Ⅲ章第1節実験2、第2節実験2)

立毛状態における調査では、各番草刈取後の刈株からの茎葉の再生様式を経時的に観察するとともに、新葉を再生した分げつの形態と数を調査した。

条播試験(第Ⅲ章第1節実験2)では、試験区内4畦の各畦から、畦の両端を除き生育中庸な1か所(長さ15cmに相当する畦)を選定し、合計4か所について行い、各品種のデータは4か所の平均値を用いた。なお、各番草刈取後の再生分げつの調査は、新しい茎葉の生長が畦のほぼ全面に認められるようになった時期に行った。

散播試験(第Ⅲ章第2節実験2)では、試験区の周縁部幅30cm程度を調査対象から除外し、その内側において生育中庸と認められた箇所にコドラート(25cm×10cm)を設置し、コドラート内の分げつについて、立毛状態で行った。データは4反復の平均値を用いた。

(3) 分げつの生育段階および形態による分類基準

1) 節間伸長の有無に基づく分類(第Ⅲ章第1節実験1、第2節実験1、第3節、第Ⅳ章第3節第1項)

分げつを節間伸長茎(以下伸長茎)と節間未伸長茎とに分類し、後者を栄養生長茎(以下栄養茎)として扱った。生育段階の判別は、分げつ数調査の際、節の上昇(節間の伸長)が確認されたものを伸長茎、それ以外を栄養茎とした。伸長茎はさらに出穂茎と未出穂茎とに分類した。なお出穂茎は止葉葉鞘の先端より穂

先が出現した茎とした。

2) 葉身における刈取りの痕跡(刈跡)の有無に基づく分類(第Ⅲ章第1節実験2、第2節実験2、第Ⅳ章第3節第2項)

分げつをその刈取後の再生時の形態から、葉身に刈跡が認められる分げつと、認められない分げつ、および刈取時に節間伸長していたため刈取りにより茎頂を失い再生不能となった分げつ(「刈られた伸長茎」または「非再生分げつ」と表記)とに分類した。

なお鮮明な刈跡が認められる再生分げつは、刈取時に生存した分げつで、刈跡の無い分げつは、刈取後に新たに発生した分げつ、あるいは刈取時には草高が刈取高に達していなかった分げつのいずれかである。また、葉は葉身と葉鞘で構成されるが、チモシーにおいても葉身のない前葉(プロフィル[158])に次いで出現する第1葉は葉身がごく短い不完全葉で、第2葉以降において葉身が次第に大きく展開するようになる[6]。そのため、刈跡の有無は、第2葉以降において識別できるようにする。

2. 乾物収量(kg/a)

単播試験(畦間30cmの条播試験)では、収穫調査の面積は、原則として試験区内部の1.2 m²(0.3m×1.0m×4か所)とし、刈取りは鎌により手刈りで行った。散播試験では、収穫調査の面積は3.9 m²(1.3m×3.0m)とし、刈取りはレシプロモアにより行った。または1.0 m²のコドラートを使用した坪刈り法により行った。刈取高は地際より7-10cmとした。

3. 草種構成(生草重量割合, %)

試験区ごとに生草試料約500-2,000gを各牧草種と雑草類に分類してから生草重量を測定して求めた。雑草類は播種した牧草以外の植物とした。

4. 冠部被度(%)

試験区ごとに周縁部分を除いてイネ科牧草、マメ科牧草、雑草および裸地について面積割合を目視により求めた。雑草は播種した牧草以外の植物とした。

5. 草丈(cm)

草丈は1試験区当たり、周縁部を除く10箇所を測定し、その平均値を求めた。

6. 乾物重増加速度(Crop Growth Rate(以下CGR), g/m²/日)

乾物収量を各番草の生育日数で除して求めた。その際1番草の生育日数は、チモシーの萌芽期(試験区全体に渡って新葉の伸長が認められた時期)から起算した。

7. 分げつ基底部の諸形質

分けつ調査の際に掘り取り採取した試料について、地際より 3cm までの茎・葉基部（以下基底部）の乾物重（g/m²）、非構造的炭水化物（Total Non-structural Carbohydrates, 以下 TNC）含有率（%）および窒素含有率（%）を測定した。TNC の定量はアントロン法[30]、窒素含有率は水野ら（1980）[102]の方法に準拠して分析した。

8. その他

以下、主として第Ⅴ章において、評点法で調査した形質を中心に、その調査基準を記す。

（1）越冬性

極不良 1-極良 9。

（2）草勢

極不良 1-極良 9。

（3）分けつ数

極少 1-極多 9。

（4）節間伸長茎割合

無または極少 1-極多 9。

（5）出穂茎割合

無または極少 1-極多 9。

（6）草型

直立 1-匍匐 9。

（7）葉幅

極狭 1-極広 9。

（8）株の広がり

極小 1-極大 9。

（9）自然草高

cm。

（10）出穂始期

月/日。

（11）個体（株）当たり分けつ数

無 0, 極少 1-極多 9。

（12）個体当たり再生茎率

％。個体当たり再生茎率（第Ⅴ章第 2 節第 1 項）は、2 年目 1 番草で発生した全分けつ数（1 番草の刈株で判定した）に対する各番草刈取後の再生分けつ数の割合を目視により評価した。

（13）欠株率

％。欠株率（第Ⅴ章第 2 節第 2 項）は、全畦長に対する再生分けつの認められない畦の長さの割合とし、目視により調査した。

第Ⅲ章 チモシーにおける分げつ密度維持の機構

第1節 チモシー品種の新旧分げつの世代交代における季節性と収量構成分げつの発生活長

イネ科牧草からなる草地の生産力は、枯死分げつが新分げつと適宜に置き換わる、いわゆる新旧分げつの世代交代が円滑に生じ、必要な分げつ密度が維持されることにより持続する[79]。一方、草地において地上部を構成する個々の分げつは、生育段階や茎重が必ずしも揃っておらず、分げつの構成内容は、季節や品種によって変動し、また草地の季節的生産力は、その影響により変動すると思われる。

チモシーの分げつ数の動態や分げつの起源について、これまで多くの知見が得られている[9, 29, 63, 56, 79, 80, 159, 181, 190]。しかし国内の主要な栽培地帯である北海道において、分げつ発生の季節的消長を複数年に渡り調査した報告はみられない。また、複数品種あるいは早晩性の異なる品種の比較を試みた報告はみられない。

ここでは、北海道で育成され流通しているチモシーの早生品種と晩生品種を供試し、採草利用を想定した刈取条件下において、分げつを生育段階や形態で分類し、その数や茎重、ならびに構成割合の季節的推移を複数年調査し、チモシー品種の分げつ密度維持を左右する新旧分げつの交代における季節性と各番草の収量構成分げつの発生時期を検討した。

材料と方法

実験1. 生育段階別分げつ構成の季節的推移の調査

根釧農業試験場圃場（北海道標津郡中標津町、普通黒ボク土）において試験圃場を造成し調査を実施した。

供試品種はチモシー早生品種「ノサップ」および晩生品種「ホクシュウ」とした。播種は1997年8月20日に行った。播種年は刈取りを実施せず、播種後2年目（1998年）以降に刈取りを行った。

刈取り方法は、採草利用を想定して年間2回刈りとし、1番草は出穂期（観察により約50%の分げつが出穂した時期）、2番草は「ノサップ」が8月下旬（1番刈後52-60日後）、「ホクシュウ」が9月中旬（1番刈後61-72日後）に行った。表Ⅲ-1-1に供試品種の1番草の出穂始と出穂期、ならびに各番草の刈取月日を示した。刈取りは鎌による手刈りで行い、刈取

高は地際より7cmとした。

分げつの調査は、播種1年目（1997年）から播種後4年目（2000年）まで4年間に渡って概ね2-4週間ごとに行った。調査期間中、試験区内で発生した雑草は適宜手取り除草した。

実験2. 各番草刈取後の再生草構成分げつの形態と生育段階の調査

1. 供試品種と試験区の造成・管理

上川農業試験場天北支場圃場（北海道枝幸郡浜頓別町、台地褐色森林土）において試験圃場を造成し調査を実施した。供試品種は実験1と同じ「ノサップ」および「ホクシュウ」とした。播種は2003年6月26日に行った。1試験区当たり4畦、畦長は1.5mとし、1区面積は1.8m²で反復はなしとした。

造成年は刈取りを実施せず、播種後2年目は「ノサップ」が年間3回、「ホクシュウ」が年間2回の刈払いを行った。

調査は播種後3年目（2005年）6月から4年目（2006年）7月にかけて実施した。播種後3年目（2005年）における年間の刈取回数は、「ノサップ」が3回、「ホクシュウ」が2回とし、刈取りは「ノサップ」が1番草を出穂期である6月23日、2番草が8月18日、3番草は10月12日に行い、「ホクシュウ」では1番草を出穂期である7月4日、2番草は9月27日に行った。また刈取りは、手刈りとし、刈取高は地際より10cmとした。

2. 調査方法と分げつの形態ならびに生育段階による分類

播種後3年目（2005年）に各番草刈取後の刈株からの茎葉の再生様式を経時的に観察するとともに、新葉を再生した分げつの形態と数を調査した。また、翌年（2006年）の越冬後および1番草の分げつの形態と生育段階、ならびに数を調査した。各番草刈取後の再生分げつの調査は、新しい茎葉の生長が畦のほぼ全面に認められるようになった時期に行った。

なお、越冬後の分げつ数の調査を行った播種後4年目（2006年）は、融雪期が4月26日であったが、その後も5月1日まで降雪日が断続的に認められた。1番草の調査は融雪後（5月14日）と各品種の1番草の節間伸長茎の出現盛期（7月）に行った。越冬後に生存した分げつは、越冬によって下位葉が枯死しているものが多く、越冬前の刈取りの痕跡は判然としなかつ

た。そこで、分げつをその形態から次のように区分した。5月14日の調査では、サイズの大小にかかわらず、越冬による枯死葉（枯死組織）や前年に罹病した葉枯性病害の病斑が認められる分げつと越冬による枯死組織が認められなくても葉数がプロフィルを除き4葉を越える分げつを、越冬前に生存していた分げつとみなし、「越冬分げつ」に分類した。それ以外のプロフィ

ルと第1葉が健全で枯死葉が認められない分げつは、発生後の経過日数が不明瞭であり、発生時期が越冬前か早春であるか判別できないため、「若齢分げつ」として調査を行った。1番草節間伸長茎出現盛期における分げつは、その生育段階から節間伸長茎（以下伸長茎）と節間末伸長茎とに分類し、後者を栄養生長茎（以下栄養茎）として調査を行った。

表Ⅲ-1-1. 供試品種の出穂始、出穂期および刈取月日^a。

調査年	「ノサップ」				「ホクシュウ」			
	出穂始	出穂期	刈取月日		出穂始	出穂期	刈取月日	
			1番草	2番草			1番草	2番草
1998年	6/26	6/29	7/1	8/21	7/5	7/14	7/15	9/14
1999年	6/19	6/25	6/25	8/24	6/25	7/7	7/7	9/17
2000年	6/21	6/26	6/29	8/23	6/27	7/8	7/11	9/19
平均	6/22	6/26	6/28	8/22	6/29	7/9	7/11	9/16

^a月/日。

結 果

実験 1. 生育段階別分げつ構成の季節的推移の調査

1. 地上部における生育段階別分げつ構成の季節的推移

(1) 生育段階別分げつ数の季節的推移

「ノサップ」、「ホクシュウ」とも1番草では伸長茎の出現と増加にともない、総分げつ数は減少し、栄養茎数は急減した（図Ⅲ-1-1）。1番草での伸長茎の出現開始時期は「ノサップ」が5月下旬頃、「ホクシュウ」では5月末-6月上旬頃であった。伸長茎数割合は6月中旬に60-80%、1番草刈取時（「ノサップ」は6月下旬-7月上旬、「ホクシュウ」では7月上旬-7月中旬）には90%以上に達し、分げつの大部分が伸長茎となった。1番草の刈取りによって、既存分げつのほとんどは再生せず、刈取後は刈株の地際から、新しい分げつが年間で最も多く発生し、その結果、茎数密度が1番草刈取前の水準まで回復した。

伸長茎は2番草においても「ノサップ」では8月上旬、「ホクシュウ」では8月中旬には認められるようになり、その刈取期における割合は「ノサップ」が40%程度、「ホクシュウ」が20%程度と品種間に差異が認められた。またこのことから、2番草では、刈取期においても、伸長茎数が栄養茎数よりも少なかった。2番草刈取後は、翌年の5月中旬または下旬まで、伸長茎の出現はほとんど認められなかった。

なお、「ノサップ」、「ホクシュウ」とも2年目2番刈時に生存していた栄養茎数と、3年目1番刈時の

伸長茎数とは大差がなく、統計的な有意差（t検定）も認められなかった。この関係は、3年目2番刈時既存の栄養茎数と4年目1番刈時の伸長茎数との間にも認められた。

また、総分げつ数は、両品種とも経年的に減少する傾向を示したが（図Ⅲ-1-1）、「ホクシュウ」と比べ「ノサップ」の減少傾向がやや高い傾向にあった。

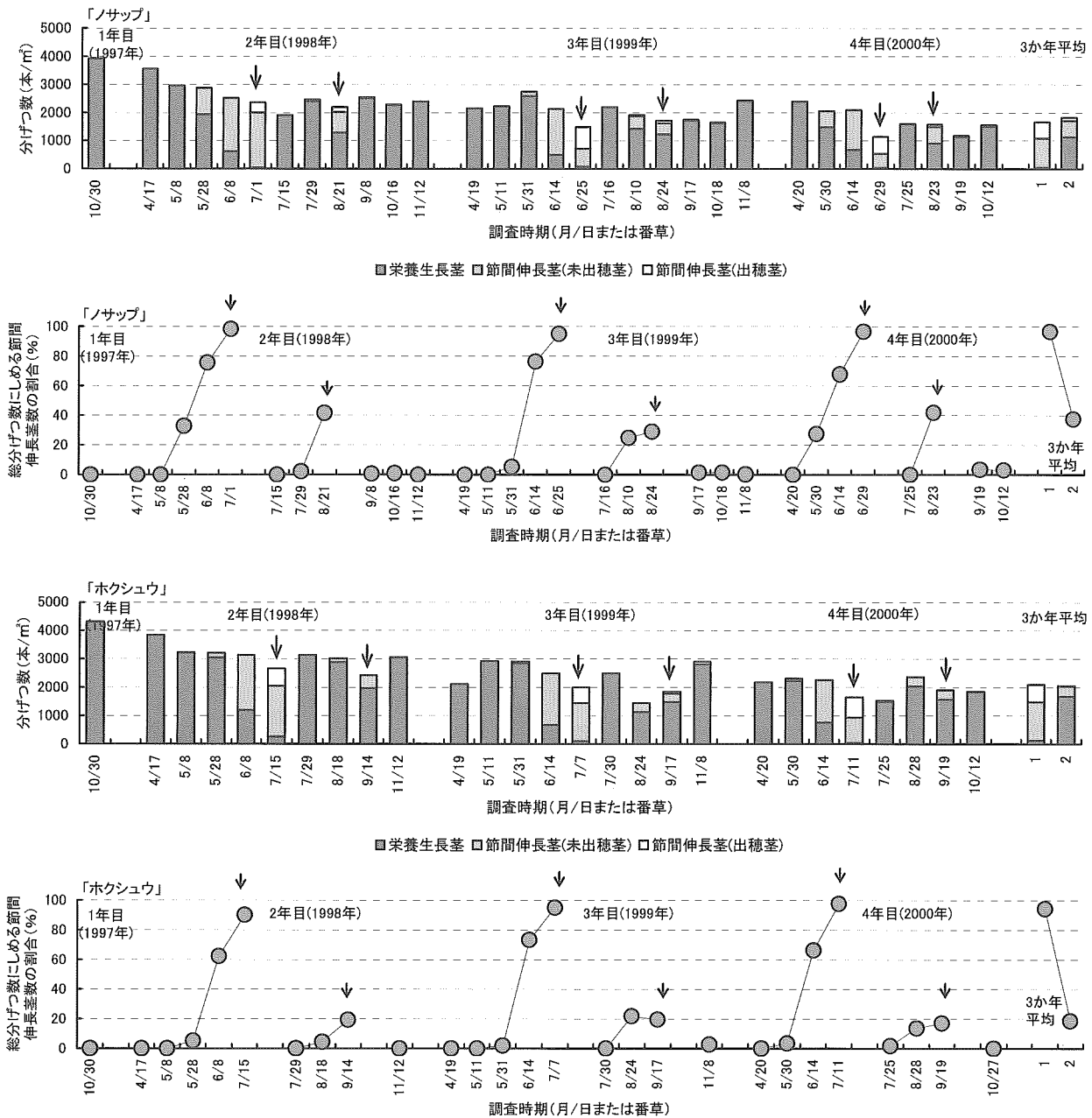
(2) 生育段階別分げつの現存量の季節的推移

「ノサップ」、「ホクシュウ」とも1番草の現存量は、とくに伸長茎現存量の増大とともに急増し、刈取期には年間で最大値を示した（図Ⅲ-1-2）。6月中旬以降は現存量の大部分が伸長茎で構成され、刈取期には99-100%が伸長茎となった。

また、「ノサップ」、「ホクシュウ」とも1番刈後は、7日目まで新葉の再生や新生分げつがなく、地上部は刈株だけの状態となり、その後に新たに発生した分げつが生長し、それに伴って現存量が増加を始めた。2番草においても、「ノサップ」では、刈取時の現存量は伸長茎が栄養茎より大きく、現存量の増加に伸長茎が大きく寄与した。しかし「ノサップ」、「ホクシュウ」とも1番刈時と比べ栄養茎の現存量は、明らかに高かった。

2. 生育段階別分げつの平均1茎重の季節的推移

刈取後速やかに新葉を再生できる茎は、主として刈取時に茎頂（生長点）が刈取高さよりも低い位置に存在した栄養茎である。そこで、栄養茎の平均1茎重（図Ⅲ-1-3）をみると、「ノサップ」、「ホクシュウ」とも1番草では越冬後から伸長茎の旺盛な増加が始ま



図Ⅲ－1－1. チモシー品種の生育段階別分けつ数と総分けつ数に占める節間伸長茎数の割合の季節的および年次的推移。

矢印は刈取期を示す。3 か年平均は 2-4 年目の各番草刈取期の平均値。

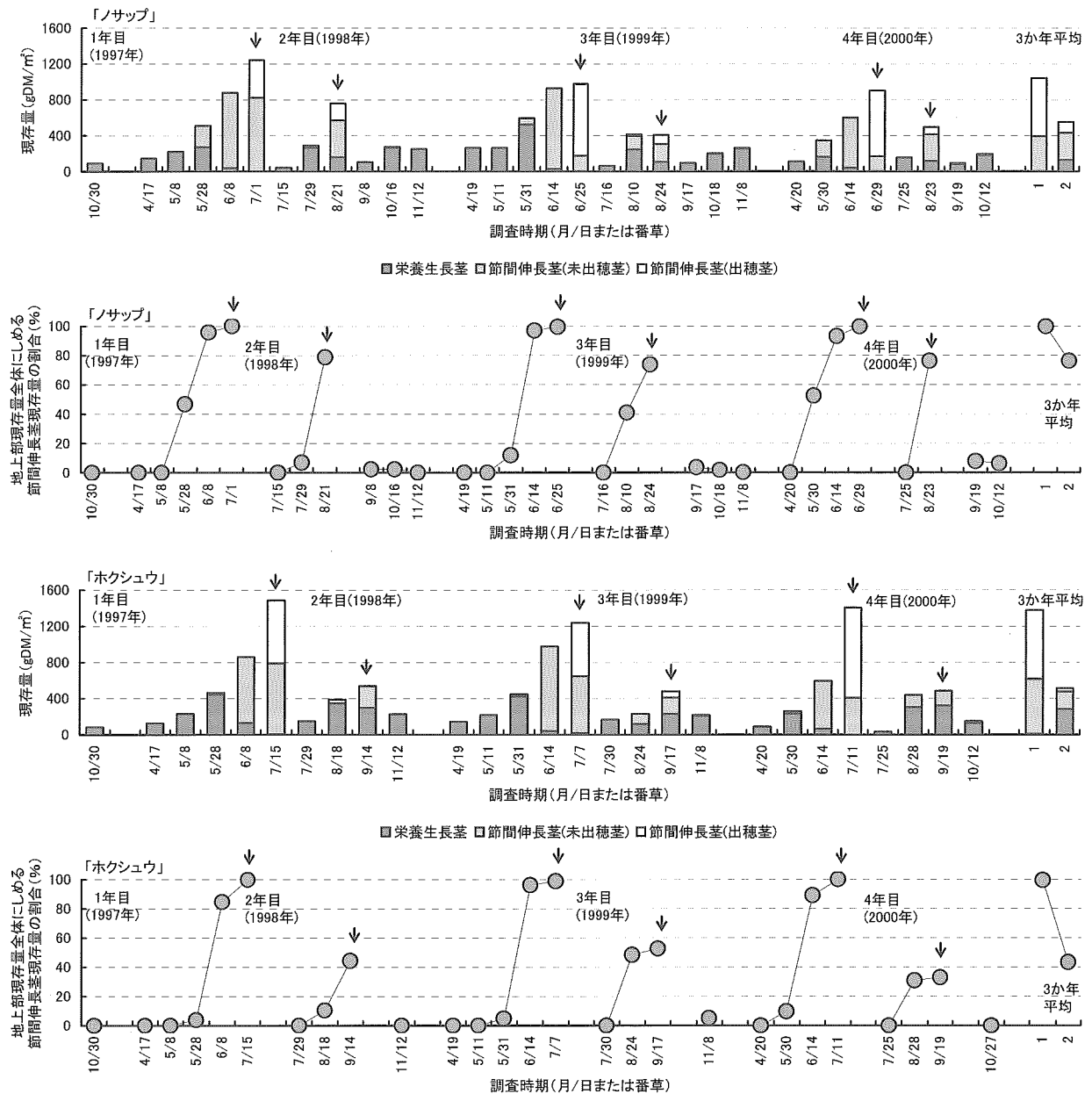
る 5 月下旬-末頃にかけて増大したが、その後は減少に転じ、「ホクシュウ」の 3 年目 1 番刈時を除いて 1 番刈時の前後（6 月下旬-7 月上旬）に年間で最も低い水準に達し、1 番刈時の 3 か年平均は「ノサップ」が 40mgDM、 「ホクシュウ」が 67mgDM であった。一方、2 番草では栄養茎の平均 1 茎重が刈取期まで大きく低下しなかった。

「ノサップ」、 「ホクシュウ」とも伸長茎の平均 1

茎重は、栄養茎のそれを常に上回った（図Ⅲ－1－3）。また各番草における総分けつの平均 1 茎重は刈取期に最大となった。

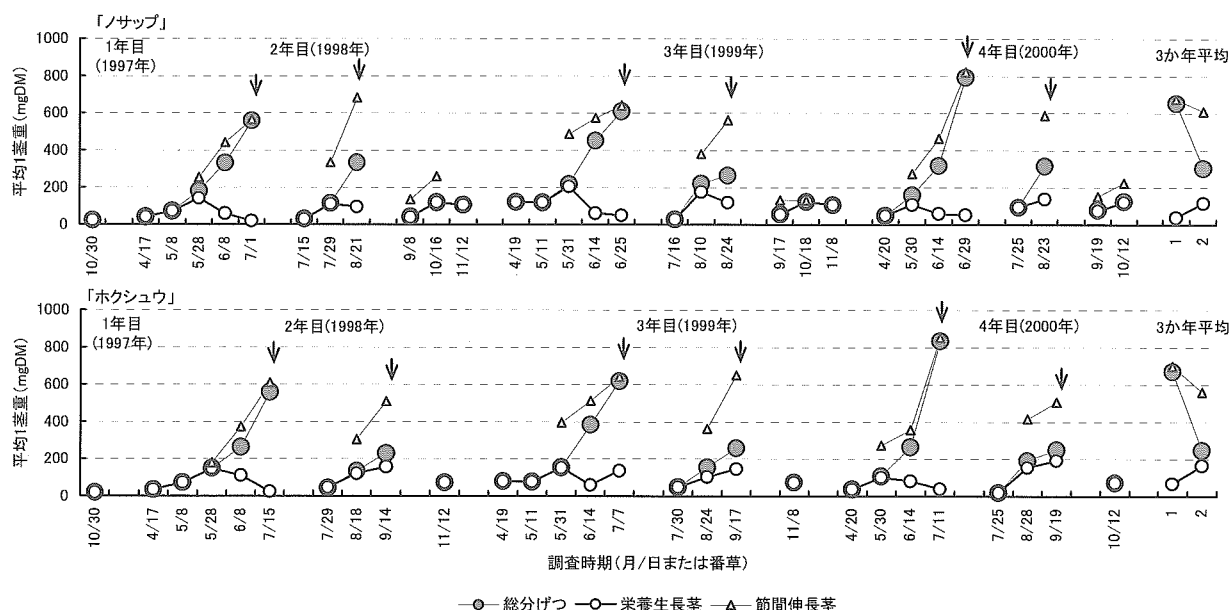
3. 各番草刈取期における栄養茎の数と平均 1 茎重

供試品種の各番草刈取時の栄養茎の数と平均 1 茎重の実数値（表Ⅲ－1－2）を見ると、1 番草刈取時の栄養茎は数、平均 1 茎重とも 2 番草刈取時と比べ小さかった。



図Ⅲ-1-2. チモシー品種の生育段階別分けの地上部現存量と地上部現存量全体にしめる節間伸長茎現存量の割合の季節的および年次の推移.

矢印は刈取期を示す. 3か年平均は2-4年目の各番草刈取期の平均値.



図Ⅲ－1－3. チモシー品種の生育段階別分けつの平均1茎重の季節的および年次的推移。
矢印は刈取期を示す。3か年平均は2-4年目の各番草刈取期の平均値。

表Ⅲ－1－2. チモシー品種の各番草刈取時における栄養生長茎の数と平均1茎重。

形 質	「ノサップ」							
	1番草刈取時				2番草刈取時			
	2年目	3年目	4年目	平均	2年目	3年目	4年目	平均
茎数 (本/m ²)	42	75	42	53	1283	1225	917	1142
平均1茎重 (mgDM)	19	50	53	40	95	119	138	117

形 質	「ホクシュウ」							
	1番草刈取時				2番草刈取時			
	2年目	3年目	4年目	平均	2年目	3年目	4年目	平均
茎数 (本/m ²)	267	100	42	136	1967	1483	1575	1675
平均1茎重 (mgDM)	25	137	40	67	157	146	192	165

実験 2. 各番草刈取後の再生草構成分けつの形態と生育段階の調査

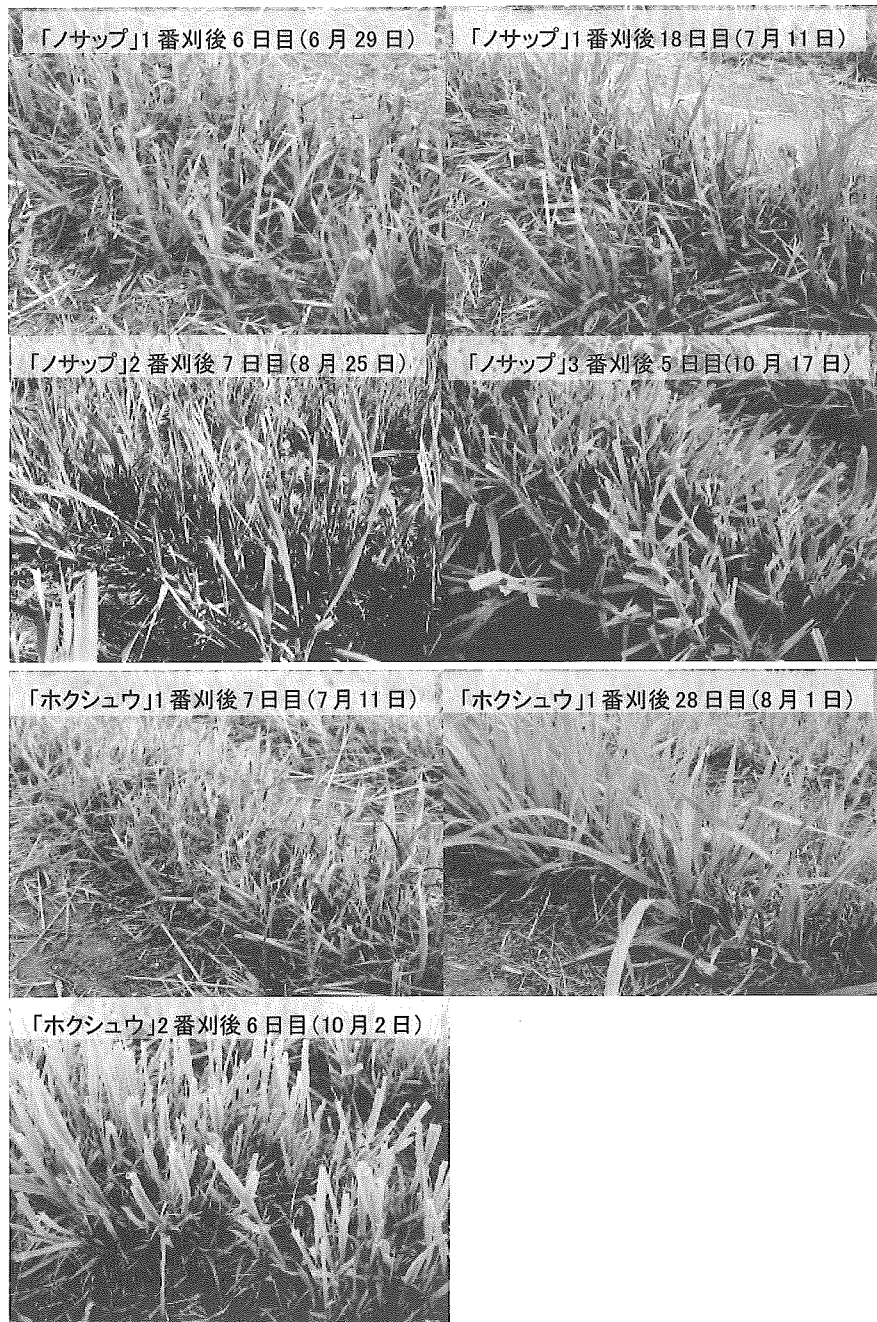
1. 各番草刈取後の再生草における形態別分けつ構成

「ノサップ」、「ホクシュウ」とも1番刈後は少なくとも10日間は、刈株からの新葉の生長や新しい分けつの発生は認められなかった（図Ⅲ－1－4）。「ノサップ」では刈取後13日目（7月6日）頃、「ホクシュウ」では刈取後16日目（7月20日）頃、刈株から新しい分けつの発生がまばらに認められるようになった。図Ⅲ－1－5に、1番草刈取り以降の再生草において新葉を再生した分けつ（生存分けつ）を、葉身に刈取りの痕跡が認められる分けつ（刈跡有り）と、認められない分けつ（刈跡無し）とに分類し、その数を示した。1番刈後の再生分けつのほとんどは刈跡のない

分けつであり、刈跡のある再生分けつ数は「ノサップ」では全体の3%、「ホクシュウ」では全体の1%であった。

8-9月の2番草刈取後ならびに10月の「ノサップ」3番草の刈取後は、いずれも刈取後5-7日目には、畦のほぼ全長に渡って新葉の再生が認められた（図Ⅲ－1－4）。それら再生分けつの大部分は葉身に刈跡が認められた（図Ⅲ－1－4、Ⅲ－1－5）。このときわずかに認められた葉身に刈跡を認めない分けつは、プロフィールや第1葉もしくは2-3枚の葉身を展開しているものであった。

2番草および3番草で存在した伸長茎を、「刈られた伸長茎」として調査したところ、いずれも栄養茎数を大きく下回った。



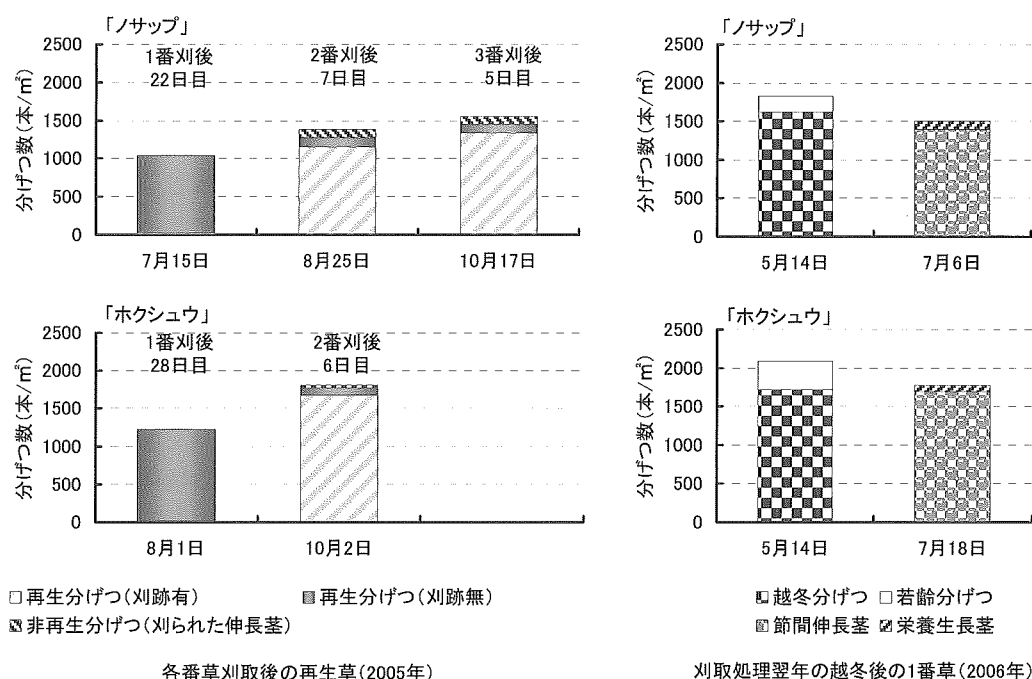
図Ⅲ－1－4. チモシー品種の各番草刈取後における茎葉の再生の状況。
播種後3年目（2005年）．条播（畦間30cm）．

2. 越冬後1番草における形態別ならびに生育段階別分けつ構成

図Ⅲ－1－5に播種後4年目（2006年）に調査した越冬後の分けつ数を示した。越冬分けつ数は、「ノサップ」が1,622本/m²、「ホクシュウ」が1,717本/m²であり、前年の最終番草刈取後の再生分けつ総数に対する指数は「ノサップ」が112、「ホクシュウ」が97となり、越冬による減少はみられなかった。

1番草の伸長茎数は「ノサップ」が1,394本/m²、「ホクシュウ」が1,689本/m²と、越冬分けつ数と同程度かやや少なかった。1番草の総分けつ数に占める伸長茎数の割合は「ノサップ」が93%、「ホクシュウ」が95%であった。同時に認められた栄養茎は、いずれも茎が細く、葉色は淡く、草勢が劣った。

なお、3,4年目とも調査時の総分けつ数は、全般に「ホクシュウ」が「ノサップ」と比べ多かった。



図Ⅲ－1－5. 各番草刈取後の再生草および翌年越冬後1番草における形態別ならびに生育段階別分げつ数。播種後3年目(2005年)から4年目(2006年)までの調査。2005年1番草を構成した分げつの大部分は伸長茎であったため、刈取後の刈られた伸長茎の数は未調査とした。
越冬分げつ：枯死葉が認められる分げつ、または枯死葉が認められなくても葉数4枚を超える分げつ。
若齢分げつ：越冬分げつ以外でプロフィールと第1葉が健全で枯死葉が認められない分げつ。

考 察

1. チモシー品種における新旧分げつの交代における季節性

分げつは、一度十分なサイズを獲得すれば、栄養生長段階にある限り、茎頂(生長点)は地表近くに位置し、刈取後も新葉の展開を続ける[83, 179]。長日植物であるチモシー[4, 5, 10, 110]は、限界日長を越えると、茎頂(生長点)に幼穂が形成され、茎は節間が伸長し生長点が上昇する。そのため、これらの伸長茎は刈取によって生長点を失いやすく、生長点を失った分げつは再生しない。

そこで、実験1では、「ノサップ」と「ホクシュウ」を供試して、分げつを刈取後も原則として再生することが可能な「栄養茎」と刈取後はそのほとんどが再生不能となる「伸長茎」とに区分し、その発生の季節的消長を調査した。その結果、両品種とも伸長茎数割合は1番草刈取期には90%以上を示すとともに、6月中旬以降の現存量は伸長茎がほぼ100%をしめ、栄養茎

の現存量は刈取期において1%に満たなかった(図Ⅲ－1－1, Ⅲ－1－2)。

刈取後は1番草収量を構成した伸長茎の多くが再生せず、その刈株の地際から多数の分げつが新たに発生したことにより茎数密度が回復する(図Ⅲ－1－1)。このように1番草刈取りの前後において、新しい分げつに大幅に交代したと考えられる。

1番刈時に既存の栄養茎は、数、茎重ともに小さいことに加え、刈取後の再生は、新たな分げつの発生とその生長[63, 91]に依存しなければならず、1番刈後は再生が停滞する[81, 159]。本試験でも同様の結果が得られた。

しかし、1番草刈取後は、2番刈時においても伸長茎数割合は「ノサップ」で40%程度、「ホクシュウ」では20%程度に止まり、それ以降翌年5月の伸長茎の出現が旺盛となる時期まで、両品種とも地上部を構成する分げつは栄養茎が主体となって推移した(図Ⅲ－1－1)。

吉澤・佐々木(1980)[190]は、1番刈後に発生し、

2 番刈時に栄養茎として経過した分げつが、翌年 1 番草の出穂茎を構成し、それより発生の遅い分げつは競争に不利で枯死しやすいとし、Hill・Watkin (1975) [29]は、晩秋や早春に発生した遅発分げつは、より早期に発生したものとは比べ、生育に適した空間を確保できずに枯死しやすいとしている。図Ⅲ-1-1 にみられるように、2 番刈時と比べ、晩秋や翌春では分げつ数の増加が認められたにもかかわらず、翌年 1 番刈時の伸長茎数は最終的に 2 番刈時の栄養茎数と大差がなかったことは、これらの報告から、本試験においてもとくに 2 番刈時以降に増加した遅発分げつが消失したこと、また、2 番刈時までに発生し、2 番刈時に栄養茎として存在した分げつが、その後翌年の 1 番草にかけて茎葉の乾物生産の主体として推移したことを示唆している。

2. 各刈取次の収量構成分げつの発生時期

実験 2 において、1 番草刈取後の再生分げつは 2 番草収量を構成し、2 番草刈取後の再生分げつは、「ノサップ」では 3 番草収量、「ホクシュウ」では越冬前分げつを構成する。また、「ノサップ」3 番草刈取後の再生分げつは、越冬前分げつになった。

1 番草刈取後の再生分げつは、「ノサップ」、「ホクシュウ」とも刈跡のない分げつが大部分をしめたが（図Ⅲ-1-4、Ⅲ-1-5）、これらはプロフィールや第 1 葉が認められ、その多くは調査時に緑色を呈し健全とみられたことから、刈取後に刈株に存在した腋芽が生長して新たに生じた分げつと考えられた[55]。一方、同時に認められた刈跡のある再生分げつは、1 番刈時に発生済みであったものの、いずれも茎が細く、葉の一部が枯死するなど、生育が不良で茎重が小さく、その数も少数であったことから、2 番草収量への寄与は期待できないと考えられた。したがって、2 番草収量を構成した分げつは、両品種とも主として 1 番刈後に新たに生じた分げつと考えられた。

「ノサップ」の 2 番草刈取後 7 日目ならびに「ホクシュウ」の同 6 日目における再生分げつの大部分は、刈跡が認められたことから、刈取時に草高が刈取高さを上回り、当該番草の収量に寄与した分げつであったと考えられる。同時に認められた刈跡のない分げつも、その形態から刈取時に既に発生済みの分げつで、刈取時の草高は刈取高さを下回り、当該番草の収量にはほとんど寄与しなかったと推察される。したがって、「ノサップ」の 3 番草収量を構成した分げつならびに「ホクシュウ」の越冬前の分げつも、1 番草刈取以降 2 番刈時までに発生していた分げつが主体であったと考え

られた。

また、「ノサップ」の 3 番草刈取後 5 日目の再生分げつも、総分げつ数はやや増加したものの、その構成内容は 2 番刈後の再生分げつとほぼ同様であったことから、「ノサップ」の越冬前の分げつは、1 番草刈取以降 3 番刈時までに発生していた分げつが主体であったと考えられた。したがって、「ノサップ」、「ホクシュウ」とも 2 番草以降では、収量を構成した分げつは、多くは刈取時に栄養茎として存在し、刈取後も再生と生育を続け、越冬を迎えたと考えられた。

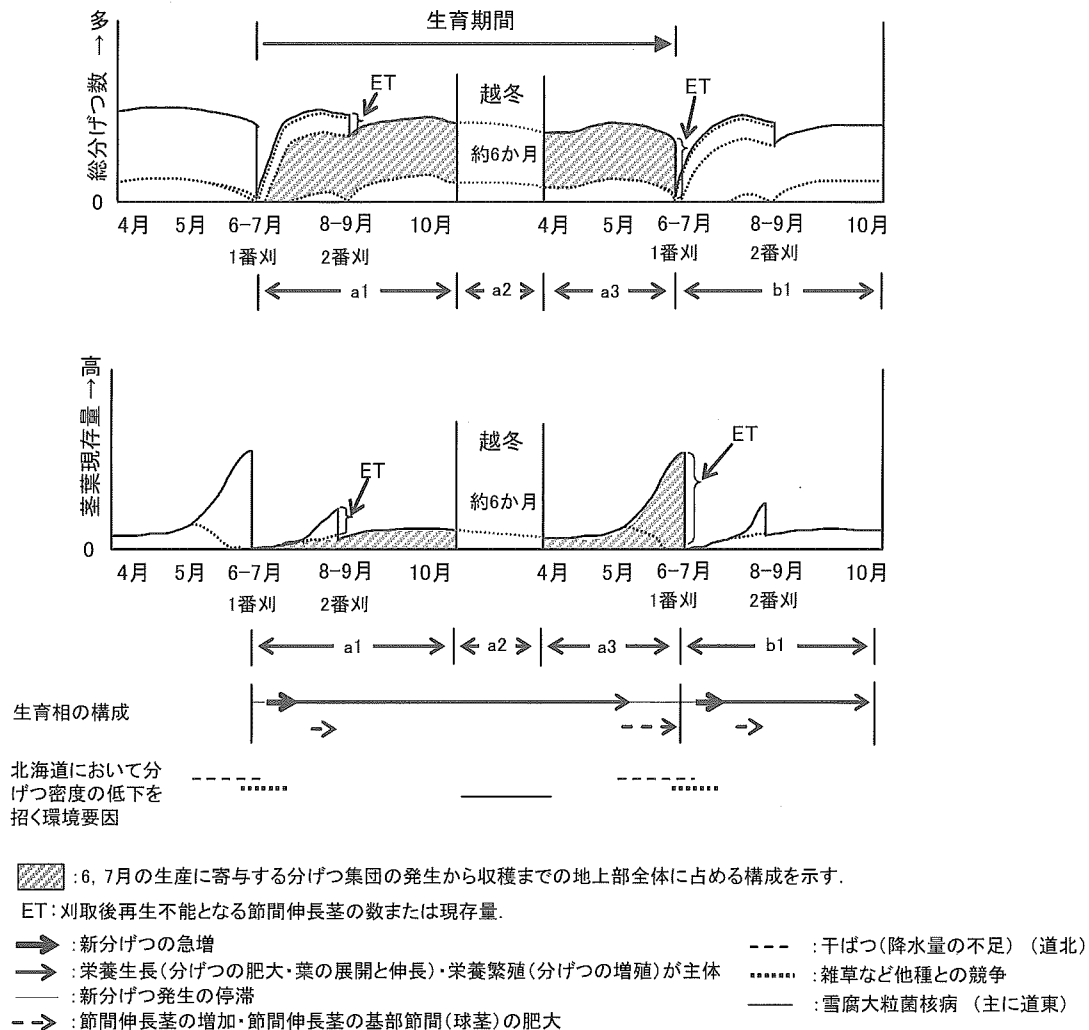
なお 2-3 番草で生じた伸長茎は、1 番刈時に既存で 1 番刈後に再生した刈跡のある分げつより数が多かったことから、これらも主として 1 番刈後に新たに発生した分げつであったと推察された。

実験 2 の結果から、主として 1 番草の刈取後から 9 月頃までに発生した分げつの多くが、年内は栄養茎として生存し、刈取後も新葉の再生を続けて越冬分げつとなり、翌年 1 番草の収量を構成する主要な分げつになると考えられた。

3. チモシー分げつ集団の季節的生育過程

以上の結果に基づき、刈取（採草）利用条件におけるチモシー地上部の季節的生育過程を図Ⅲ-1-6 のように概括した。図Ⅲ-1-6 上図のように、6-7 月の伸長茎出現盛期の刈取後に多数の新分げつが発生し、刈取前の分げつ密度が回復する。それら新生分げつは、年内に伸長茎となる一部を除いて、多くは栄養茎として越冬し、翌年の伸長茎となり、出穂期前後の刈取りによって茎頂を失うと生育を終える。一方現存量は、図Ⅲ-1-6 下図のように、伸長茎出現盛期の刈取後 10 日間程度は増加しないが、その後は新分げつの増殖と生長にともない増加する。そして 8-9 月には一部が伸長茎となって現存量の増大に寄与するものの、それらは刈取りによって再生不能となる。しかし当該時期は栄養茎の方が数多く存在するため、刈取後はそれらが地上部を構成する主要な分げつとして再生を続け、翌春にかけて現存量の増加に寄与する。そして 5 月下旬以降は長日条件下におけるそれらの斉一な節間伸長とともに現存量は急激に増大する。

チモシーの分げつ集団の生育過程は、6-7 月の発生から越冬前までの栄養生長を主体とする期間 (a1)、6 か月に及ぶ越冬期間 (a2)、主な分げつの生育相が栄養生長から生殖生長に転換し、高い乾物生産を示す期間 (a3) の 3 つに区分してとらえることができる（図Ⅲ-1-6）。



図Ⅲ-1-6. 群落・刈取条件下におけるチモシーの地上部主要分げつの生育期間（上図）と現存量（下図）の季節的推移。

採草利用を想定した年間2回刈りの場合、生育期間は主な分げつの発生から収穫による枯死にいたるまでを示す。生育期間中のa1-a3とb1では主な分げつの世代が交代していると考えられる。

チモシーの主な分げつの発生と生育開始の時期はa1と考えられる。期間a1における伸長茎の出現の程度は、土壌水分[6]や施肥窒素の肥効[159]のような栽培環境の違いによっても変化する。また、a1で出現した伸長茎数の割合は、早生品種「ノサップ」が40%程度、晩生品種「ホクシュウ」が20%程度と、品種間に差異が認められた。一方図Ⅲ-1-6に示した季節的生育過程は、図Ⅲ-1-1、Ⅲ-1-2から「ノサップ」と「ホクシュウ」ではほぼ同様に把握できると考えられ、両品種の2番草における伸長茎数割合の差異は、収量構成分げつの発消長に明白な品種間差異をもたらすほどのものではなかったと推察される。しかしながらとくに伸長茎が出現しやすい極早生品種や北海道の緯

度では伸長茎が出現しにくい極晩生の遺伝資源にもこのことが当てはまるか否かは、別途検討が必要と思われた。

越冬期間a2は約半年（6か月）に及ぶ。とくに実験1を行った根釧地方は、冬期は寡雪で、根雪始が遅く、土壌が凍結する土壌凍結地帯であり、雪腐大粒菌核病（*Myriosclerotinia borealis* (Bubak & Vleugel) Kohn）の被害が大きな地域である。試験年次はいずれも、越冬期間中に土壌凍結が認められた。しかし越冬後の分げつ数は、年次にかかわらず、前年の晩秋と比べ、大きな減少は認められず、いずれも1㎡当たり2,000本以上が確保され、同じ年の1番刈時と比べても同程度かむしろ多かった。したがって、「ノサップ」や「ホ

クシュウ」と同等以上の越冬性を備えた品種であれば、土壌凍結地帯で越冬しても主要分げつの枯死率は低く、冬枯れが収量を構成する主要分げつの季節的な発消長を攪乱する恐れは小さいと考えられた。

年間で最も日長が長いa3では、伸長茎は斉一に生じる。a3の後半（5月末以降）で、総分げつ数の減少がみられたが、これは伸長茎数の増加よりも栄養茎数の減少が大きかったことによるもので（図Ⅲ-1-1）、この時期の新分げつの発生はほぼ停止していたことが示唆された[9, 29, 55, 62, 77, 184, 190]。

6-7月のa3からb1にかけての分げつが大幅に交代する時期（図Ⅲ-1-6）は、日長や気温が、ちょうど雑草やマメ科牧草の旺盛な生育にとって好適となる。混播などの実栽培における刈取利用条件下では、6-7月の伸長茎出現盛期に刈取られ、その後の再生は、雑草や混播したマメ科牧草の生育が旺盛な時期に行われる。このときの再生は主として新たに増殖した分げつの生長に依存するが、新生分げつは、発生当初は茎重が小さく、独立栄養生長期に達しておらず[63, 91]、そのため競争力が劣ると推察される。したがって、この時期の分げつの生存を左右する主たる要因の一つは、雑草や混播されたマメ科牧草との競争と思われる[13, 29, 75]。

実験2を行った天北地方は、とくに5-7月の降水量が少なく、保水性の劣る土壌が多いが[99]、調査年とした2005年は、6月下旬-7月中旬において、積算降水量が0mmと、早ばつ条件下にあった。この時期は、1番草の刈取期と刈取後の新葉の再生の時期に該当した。本実験では、1番草刈取後において畦の全面に再生茎葉が認められた後も、しばらくの期間分げつ密度は低い状態が続いた。しかし総分げつ数は、1番刈後の再生調査時から越冬前にかけて増加傾向を示したことから（図Ⅲ-1-5）、1番草刈取期の前後1か月以上にも及んだ無降雨により再生分げつの密度は低下したものの、越冬前にかけて十分な分げつ密度を確保することができたと考えられる。

松中（1987）[91]は、チモシーを孤立状態で水耕栽培し、採草利用1番草の生育期後半まで窒素を供給すると、分げつの増殖が続くため、刈取後の再生が圃場に比べはるかに良好であるが、1番草の途中で窒素供給を中止すれば、それ以降の分げつ発生が衰え、その結果2番草の分げつ構成は新分げつが主体になるとしている。このことは、a3における窒素の供給を改良することが、b1における生育を大きく

改善することを示唆していると考えられる。

つまり、良質な粗飼料の生産のため、若い茎葉を刈取利用する場合、チモシー草地の生産性の維持にとって、a3からb1への分げつ群の交代を確実に合わせる利用管理や品種の育成が重要であることを示唆している。

生産に寄与する分げつの発生や分げつ集団の世代交代の季節的パターンは、道内で栽培されている他の主要なイネ科牧草であるオーチャードグラス[53, 56]やトールフェスク[56]、メドウフェスク[78]、ペレニアルライグラス[8]とチモシーとでかならずしも一致しておらず、図Ⅲ-1-6に示した分げつ集団の季節的生育過程はチモシーに特徴的な生長様式と考えられた。

したがって、チモシー茎葉の季節的な生産性の変化は、選抜対象形質や利用管理などを検討する際、地上部分分げつ集団の生育時期を6-7月の刈取後における発生から越冬前までの栄養生長を主体とする期間（a1）、6か月にも及ぶ越冬期間（a2）、主要な分げつの生育相が栄養生長から生殖生長に転換し、高い乾物生産を示す期間（a3）の3つに区分してとらえることができると思われる。

小 括

チモシーの分げつ密度維持を左右する分げつの季節的世代交代の様相を明らかにした。チモシー早生品種「ノサップ」と晩生品種「ホクシュウ」の採草利用条件下では、6-7月の1番草刈取りの前後において、新旧の分げつ集団の大幅な交代が生じると考えられた。夏以降（8-10月）の再生草各番草を構成する分げつは、いずれも1番刈後から9月頃までに発生した新分げつが主体で、その多くをしめる栄養茎が刈取後も再生を繰り返して越冬し、翌年6-7月の1番草収量を構成する主要分げつになると考えられた。チモシーでは、分げつ集団の季節的生育過程は1年を周期とし、6-7月の刈取後における発生から越冬前までの栄養生長を主体とする期間（a1）、6か月に及ぶ越冬期間（a2）、主要な分げつの生育相が栄養生長から生殖生長に転換し、高い乾物生産を示す期間（a3）の3つに区分して把握できると考えられた。

第2節 多回刈りがチモシー品種の新旧分けつの世代交代における季節性と収量構成分けつの発生消長に及ぼす影響

チモシーは放牧でも利用されることがある。本節では、放牧を想定した短草・多回刈り（年間5-6回刈り）の条件下において、生育段階や形態で分類した分けつの数、茎重などを追跡調査し、利用（刈取り）頻度の増加が、チモシーの個体密度維持を左右する新旧分けつの交代の季節性、収量構成分けつの発生時期および生存期間に及ぼす影響、ならびにそれらの品種間差異について検討した。

材料と方法

実験 1. 多回刈りが生育段階別分けつ構成の季節的推移に及ぼす影響の調査

根釧農業試験場圃場において試験圃場を造成し調査

を実施した。供試品種はチモシー早生品種「ノサップ」および晩生品種「ホクシュウ」とした。播種は1997年8月20日に行った。播種年は刈取りを実施せず、播種後2年目（1998年）以降に刈取りを行った。

刈取り方法は、放牧を想定して年間5-6回刈りとし、草丈が30-40cmに達した時期を目安に行った。表Ⅲ-2-1に供試品種の各番草の刈取月日（月/日）、生育日数（日）および刈取時の草丈（cm）を示した。刈取りは鎌による手刈りで行い、刈取高は地際より7cmとした。

調査は播種1年目（1997年）から播種後4年目（2000年）まで4年間実施した。2年目以降の調査は、4月中旬以降生育期間中において調査用試料の採取を10-45日間隔で行った。調査期間中、試験区内で発生した雑草は適宜手取り除草を行った。

表Ⅲ-2-1. 実験1における各番草の刈取月日、生育日数および刈取時の草丈^a

「ノサップ」											
番草	刈取月日(月/日)			生育日数(日)				刈取時の草丈(cm)			
	2年目	3年目	4年目	2年目	3年目	4年目	平均	2年目	3年目	4年目	平均
1番草	5/18	5/31	5/30	29	31	35	32	40	38	48	42
2番草	6/8	6/14	6/15	21	14	16	17	46	44	34	41
3番草	7/13	7/26	7/3	35	42	18	32	41	31	29	34
4番草	7/29	8/25	7/26	16	30	23	23	39	43	43	42
5番草	8/26	9/17	8/28	28	23	31	27	41	37	41	40
6番草	10/6	—	10/12	41	—	47	44	35	—	37	36
平均値	—	—	—	—	—	—	—	40	39	39	39

「ホクシュウ」											
番草	刈取月日(月/日)			生育日数(日)				刈取時の草丈(cm)			
	2年目	3年目	4年目	2年目	3年目	4年目	平均	2年目	3年目	4年目	平均
1番草	5/18	5/31	5/30	29	31	35	32	35	33	38	35
2番草	6/8	6/14	6/15	21	14	16	17	41	35	32	36
3番草	7/6	7/21	7/3	28	37	18	28	42	43	29	38
4番草	7/29	8/25	7/26	23	35	23	27	40	40	36	39
5番草	8/26	9/17	8/28	28	23	31	27	36	35	32	34
6番草	10/6	—	10/12	41	—	47	44	35	—	36	36
平均値	—	—	—	—	—	—	—	38	37	34	36

^a1番草の生育日数は「ノサップ」の萌芽期（2年目4月19日，3年目4月30日，4年目4月25日）を起点とした。3年目6番草は無刈取り。

実験 2. 多回刈り条件下における各番草刈取後の再生草構成分けつの形態と生育段階の調査

上川農業試験場天北支場圃場において試験圃場を造成し調査を実施した。供試品種は「ホクシュウ」とした。播種は2005年5月17日に行った。播種法は散播であった。

播種後3年目（2007年）に各番草刈取後の刈株からの茎葉の再生様式について、冠部が再生茎葉で覆われ

るまでの期間、経時的に観察するとともに、新葉を再生した分けつの形態と生育段階、ならびに数の調査を実施した。

表Ⅲ-2-2に調査年における各番草の刈取月日（月/日）、生育日数（日）、刈取時の草丈（cm）を示した。刈取りは、主な分けつの草丈が30cm前後に到達した時期を目安に行った。年間の刈取回数は、播種年が4回、播種後2年目は8回で、調査を行った播種後3年目

(2007年)は6回であった。刈取りは芝刈り機により行い、刈取高は地際より8cmとした。

分げつの調査は、試験区の周縁部幅30cm程度を調査対象から除外し、その内側において生育中庸と認めら

れた箇所にコドラート(25cm×10cm)を設置し、コドラート内の分げつについて、立毛状態で行った。データは4反復の平均値を用いた。

表Ⅲ-2-2. 実験2における各番草の刈取月日、生育日数、刈取時の草丈。

番草	刈取月日 (月/日)	生育日数 (日)	刈取時草丈 (cm)
1番草	6/1	37	23
2番草	6/14	13	36
3番草	7/2	18	39
4番草	8/6	35	29
5番草	8/27	21	35
6番草	9/27	31	29
平均値	—	—	32

供試品種「ホクシュウ」. 播種後3年目. 散播.

結 果

実験 1. 多回刈りが生育段階別分げつ構成の季節的推移に及ぼす影響の調査

1. 生育段階別分げつ構成の季節的推移

(1) 生育段階別分げつ数の季節的推移

多回刈り条件下における「ノサップ」の総分げつ数(図Ⅲ-2-1(A))は、2, 3年目は1㎡当たり2,000-3,000本程度で推移したが、4年目は越冬直後を除いて2,000本程度かそれよりも少なく推移し、経年的な減少傾向を示した。伸長茎数は、6月上・中旬に刈取りを行った2番草で多く、次いで7月に刈取りを行った3番草で多かった。総分げつ数に占める伸長茎数の割合は、2番草において年間で最も高く、3か年の平均で58%であった。栄養茎数は、年次にかかわらず、2番草刈取時に年間で最少となり、3か年平均で1㎡あたり933本、総分げつ数に占める割合は42%となった。

「ホクシュウ」の総分げつ数は、2年目から4年目まで、1㎡あたり2,000-3,000本程度で推移し、4年目までは経年的に明らかな減少は認められなかった。総分げつ数は、年次にかかわらず、1番草刈取期から3番草刈取期までは減少し、4番草以降は増減を示しながらも越冬前までやや増加する傾向で推移した。伸長

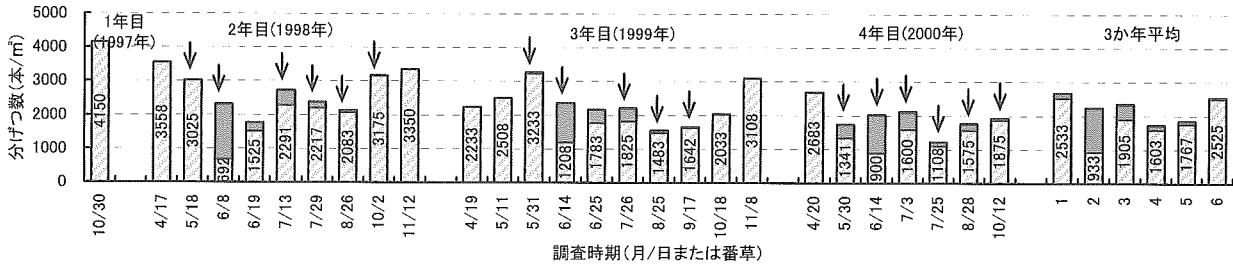
茎数は、2番草と3番草で多かった。総分げつ数に占める伸長茎数の割合は、3番草において年間で最も高く、3か年平均で48%となった。栄養茎数は、いずれの年次においても、3番草刈取時に年間で最少となり、3か年平均で1㎡あたり1,083本、総分げつ数に占める割合は52%となった。

伸長茎数割合が年間で最も高くなった「ノサップ」2番草ならびに「ホクシュウ」3番草における栄養茎の数と割合は、採草利用条件(第1節)において栄養茎数が年間で最少となった1番刈時(3か年平均で「ノサップ」が53本/㎡、「ホクシュウ」は136本/㎡、総分げつ数に占める割合はそれぞれ4%, 7%)と比べ明らかに上回った。

したがって、多回刈り条件では、両品種とも採草利用条件と比べ、伸長茎が多く出現する6-7月において、生育段階が栄養茎として経過する分げつが多かった。また、2-4年目のいずれの年次においても、「ノサップ」では2番刈後(3番草)、「ホクシュウ」では3番刈後(4番草)において、栄養茎数は顕著に増加した(図Ⅲ-2-1(A))。

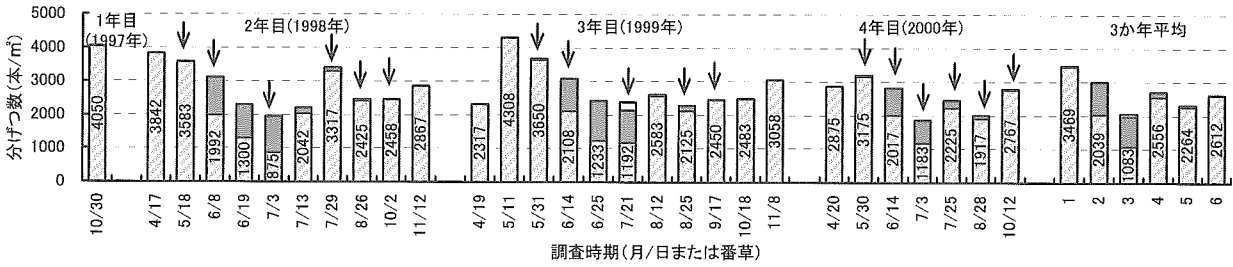
また、「ノサップ」、「ホクシュウ」とも、調査期間中は4年目10月まで、欠株の発生は認められなかった。

A-1. 「ノサップ」の生育段階別分けつ数



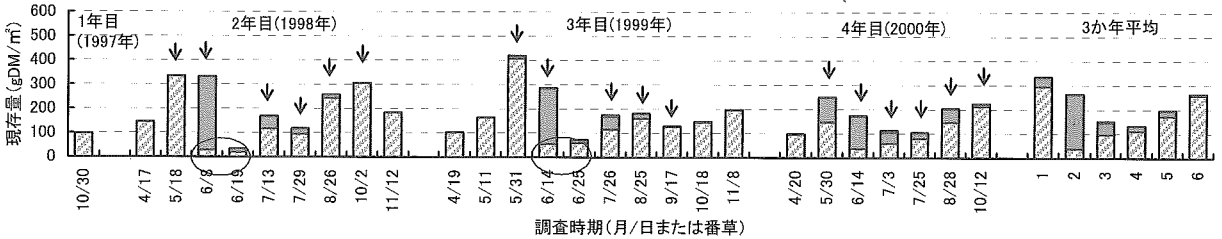
□ 栄養生長茎 ■ 節間伸長茎(未出穂茎) □ 節間伸長茎(出穂茎)

A-2. 「ホクシュウ」の生育段階別分けつ数



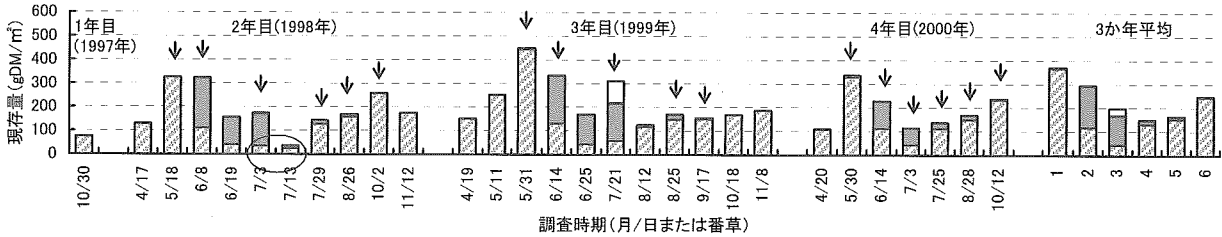
□ 栄養生長茎 ■ 節間伸長茎(未出穂茎) □ 節間伸長茎(出穂茎)

B-1. 「ノサップ」の生育段階別分けつの現存量



□ 栄養生長茎 ■ 節間伸長茎(未出穂茎) □ 節間伸長茎(出穂茎)

B-2. 「ホクシュウ」の生育段階別分けつの現存量



□ 栄養生長茎 ■ 節間伸長茎(未出穂茎) □ 節間伸長茎(出穂茎)

図Ⅲ-2-1. 多回刈り条件下におけるチモシー品種の生育段階別分けつ数, 地上部現存量における生育段階別分けつの構成の季節的および年次の推移 (実験 1).

A: 図中の矢印は刈取時期を示す. 3 か年平均は 2-4 年目の各番草刈取期の平均値, ただし 6 番草は 2 年目と 4 年目の平均値. 数値は栄養生長茎の実数値. B: 刈株部分も含む. 矢印は刈取時期を示す. 3 か年平均は 2-4 年目の各番草刈取期の平均値 (ただし 6 番草は 2 年目と 4 年目の平均値). 楕円の囲みは刈取後 10 日間程度現存量の増加がなかったことを示す. 一方, このとき A に示したように新分けつ数は増加している.

(2) 生育段階別分けつの地上部現存量の季節的推移

「ノサップ」では、2番草において、現存量の79-92%を伸長茎が構成し、収量（収穫部位）は主として伸長茎から構成されていた（図Ⅲ-2-1（B））。一方、その他の番草では、現存量は栄養茎が伸長茎を上回った。

「ホクシュウ」では、2番草と3番草において、それぞれ現存量の51-65%、61-81%を伸長茎が構成し、収量は主として伸長茎から構成されていたと推察された。一方その他の番草では、現存量は栄養茎が伸長茎を上回った。

年次にかかわらず、「ノサップ」では2番刈後、「ホクシュウ」では3番刈後において、10日間程度は、栄養茎（新分けつ）数が明らかに増加したにもかかわらず（図Ⅲ-2-1（A））、地上部現存量の増加は少なかった（図Ⅲ-2-1（B）における楕円の囲み）。

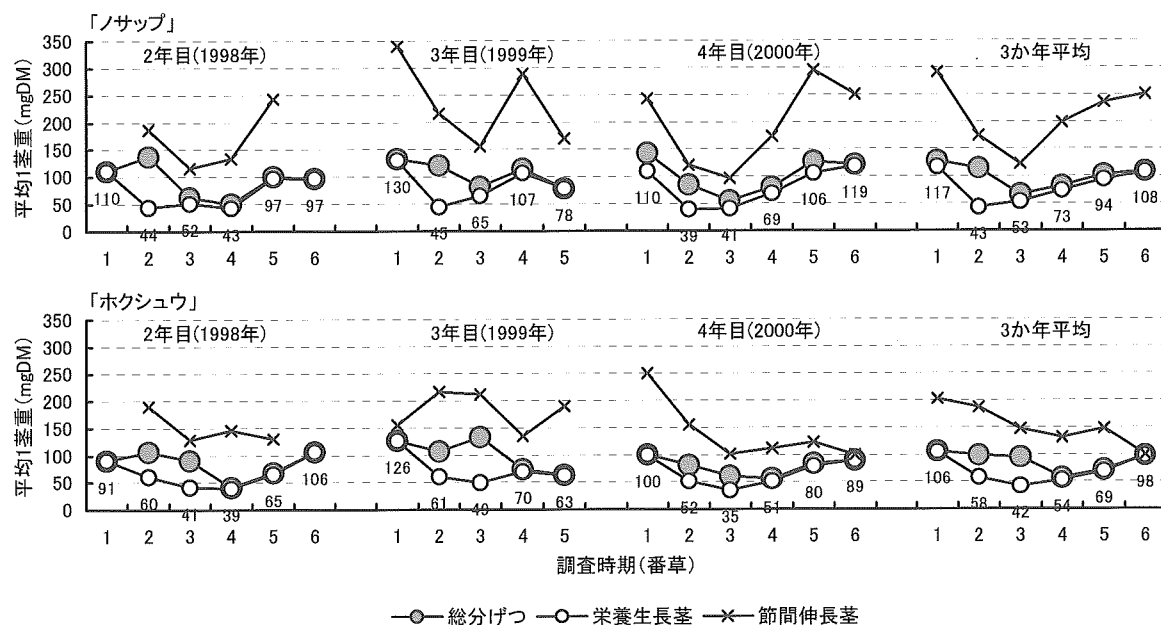
また、年次にかかわらず、各番草の栄養茎の現存量は、1番草以降は減少し、「ノサップ」では2番草、「ホクシュウ」では3番草で最少となったが、それらの刈取りによって当該季節に出現する伸長茎の大半が

刈り取られるた後、増加に転じた（図Ⅲ-2-1（B））。

2. 生育段階別分けつの平均1茎重の季節的推移

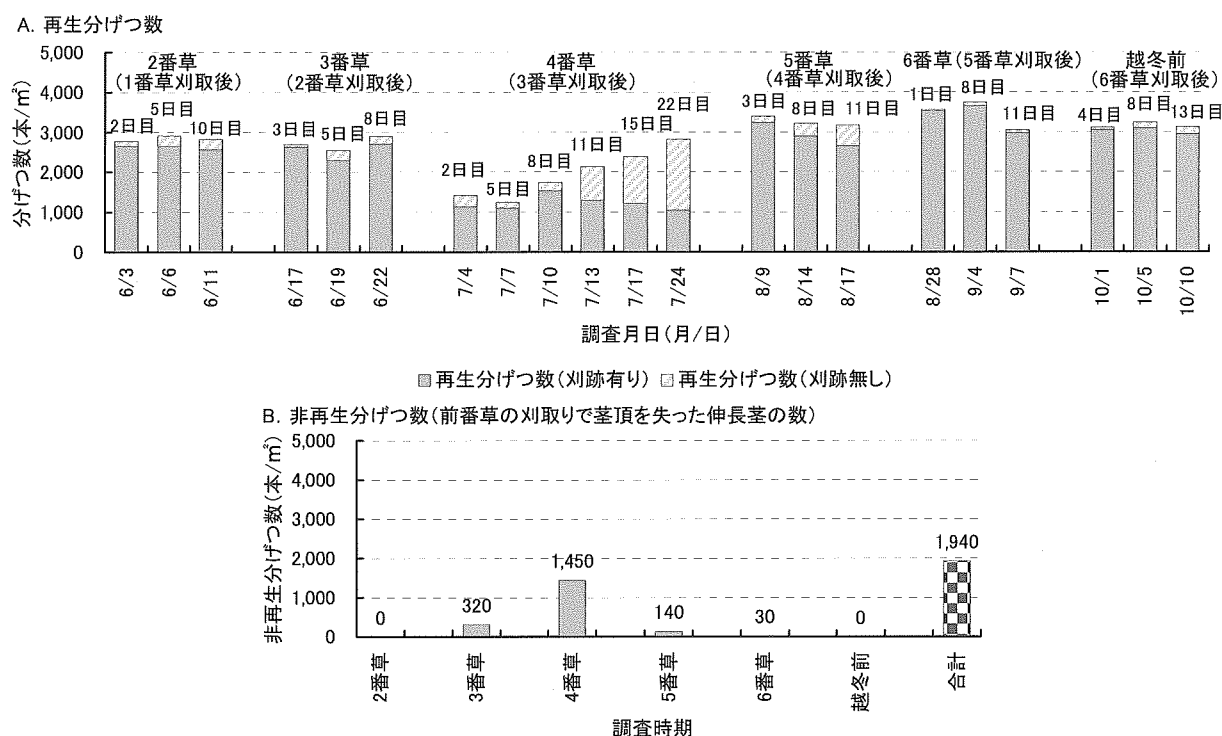
供試品種の多回刈り条件下における各番草刈取期の平均1茎重（図Ⅲ-2-2）をみると、総分けつの平均1茎重は、「ノサップ」では2番草において、「ホクシュウ」では2、3番草において、それぞれ栄養茎を明らかに上回った。しかし、そのほかの番草では、「ノサップ」の4年目1番草を除き、栄養茎と大差がなかった。3か年平均では「ノサップ」は3番草、「ホクシュウ」は4番草で最も小さくなった。

刈取後に速やかに新葉を再生できる分けつは、主として茎頂（生長点）を刈残された栄養茎である。そこで栄養茎の平均1茎重を、3か年の平均でみると、「ノサップ」では1番草から2番草にかけて、また「ホクシュウ」では1番草から3番草にかけてそれぞれ低下し、年間で最も小さくなった。また、「ノサップ」では2番草に次いで3番草、「ホクシュウ」では3番草に次いで4番草において栄養茎重は小さかった。しかしその後は、両品種とも6番草にかけて増大した。



図Ⅲ-2-2. 多回刈り条件下の各番草におけるチモシー品種の生育段階別分けつの平均1茎重の季節的および年次的推移（実験1）。

調査対象は生存茎とした。3か年平均は2-4年目の各番草刈取期の平均値（ただし6番草は2年目と4年目の平均値）。節間伸長茎の3か年平均は当該生育段階の分けつが観測された年次の平均値。図中の数値は栄養生長茎の実数値。



図Ⅲ-2-3. 多回刈り条件下におけるチモシー「ホクシュウ」の刈跡の有無で分類した各番草における再生分げつ数の推移 (A) ならびに前番草の刈取りで茎頂を失い再生不能となった分げつの数 (B) (実験 2) . 上川農業試験場天北支場 (浜頓別町) . 品種「ホクシュウ」, 単播・散播, 播種後 3 年目草地における調査結果.

A: 再生分げつは前番草刈取後に新葉を再生させた分げつ. 図中に前番草刈取後の経過日数を記した. 雑草は適宜除草した. 4 反復の平均値. 刈取高さは地際より 8cm とした. 3 番草刈取後 (4 番草の再生) では, しばらくの期間は草高が刈取高に達しない分げつが多数をしめた. B: 前番草の刈取りで茎頂を失い再生不能となった伸長茎の数. 前番草刈取後 5-8 日目に調査した. 合計は年間の累計. 図中に実数値を示した.

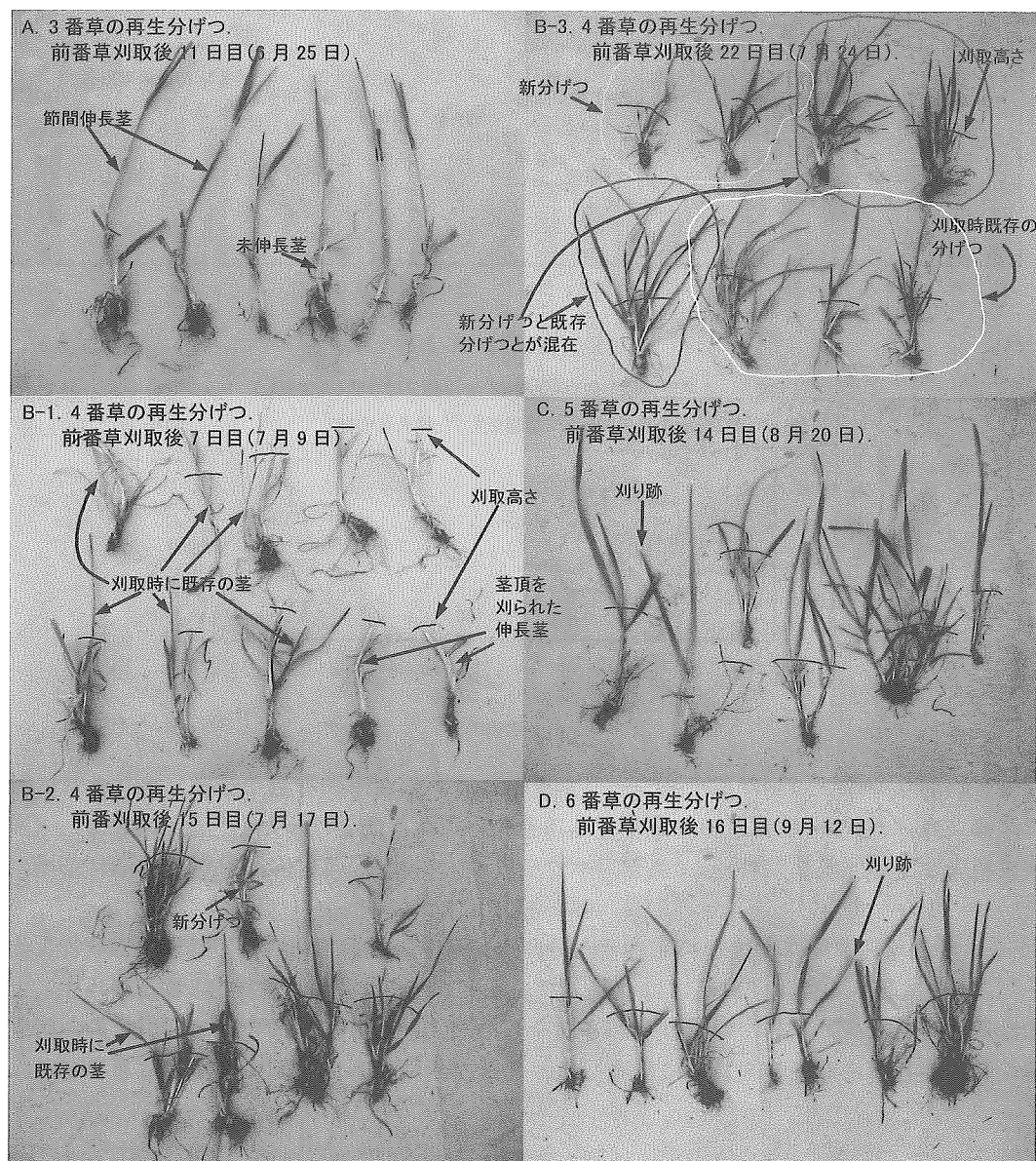
実験 2. 多回刈り条件下における各番草刈取後の再生草構成分げつの形態と生育段階の調査

図Ⅲ-2-3 (A) に「ホクシュウ」の多回刈り条件下における各番草刈取後の再生分げつを刈跡の有無で分類し, その数の推移を示した. また, 図Ⅲ-2-3 (B) に前番草の刈取りで茎頂を失い, 当該番草で再生不能となった伸長茎 (稈茎, 以下「非再生分げつ」) の数を示した. また, 図Ⅲ-2-4 に 3 番草から 6 番草の主な再生分げつの形態を示した.

2 番草 (1 番草刈取後) ならびに 3 番草 (2 番草刈取後) の再生分げつ数は, 1 m²当たり 2,500-3,000 本の範囲内で推移したが, その多くは, 刈跡を有する分げつであり, 前番草 (それぞれ 1 番草, 2 番草) まで収量 (収穫部位) を構成した分げつであった (図Ⅲ-2-3 (A), 図Ⅲ-2-4 (A)). 一方刈跡の無い分げつ

も 1 m²当たり 250 本程度と少数ではあるが認められた (図Ⅲ-2-3 (A)). しかし, その多くは形態的にみれば, 刈取後に新たに発生した分げつではなく, 前番草刈取時の既存分げつと認められた. なお, 3 番草の再生分げつの多くは, 前番草までの 2 回の刈取りによって葉身の大部分を失った状態で節間伸長した分げつであった (図Ⅲ-2-4 (A)).

3 番草刈取後 2-8 日目 (4 番草) の再生分げつ数は, 1 m²当たり 1,250-1,740 本と, 3 番草で認められた総分げつ数の半数程度であった (図Ⅲ-2-3 (A)). これは 3 番草では伸長茎が盛んに出現したことにより (図Ⅲ-2-4 (A)), 刈取後において 3 番刈時既存分げつの多く (1 m²当たり 1,450 本, 図Ⅲ-2-3 (B)) が茎頂を失い非再生分げつとなったためであった. また, 3 番草刈取後間もない時期 (刈取後 2-8 日目) における



図Ⅲ-2-4. 各番草の再生分けつ (実験2).

上川農業試験場天北支場 (浜頓別町)。「ホクシュウ」単播 (散播) 3 年目 (2007 年) 草地。年間刈取回数 6 回。追肥は早春と各番草の刈取後 (6 番草を除く) に等量を施用した。B-D では主な再生分けつはいずれも刈取時に既存の分けつ (栄養茎) であった。

4 番草の再生分けつは、刈跡を有する分けつが大部分を占め、刈跡の無い分けつは少数であった。しかし一方で、3 番草刈取後間もない頃の 4 番草再生分けつは、刈跡の有無にかかわらず、いずれも葉身の多くが枯死するなど、生理的な活性が劣る外観を呈するものが多かった (図Ⅲ-2-4 (B))。なお、刈取後 10 日目を経過した頃から、刈跡の無い分けつ数は増加し、それらは主として刈株の腋芽が生長した新分けつであった (図Ⅲ-2-3 (A))。また、刈取後 15 日目を過ぎると、3 番草刈取時に既存で刈取後に再生した分けつも、

葉身の生長が目立つようになった (図Ⅲ-2-4 (B))。新分けつ数は 4 番草において年間で最も多く増加した。また、新分けつが増加したことにより 4 番草の総分けつ数は 7 月下旬にはほぼ 3 番刈時の水準まで回復した (図Ⅲ-2-3 (A))。したがって、4 番草の再生分けつは、3 番刈時の既存分けつ (1 m² 当たり約 1,000-1,500 本) と、3 番刈後に新生した分けつ (1 m² 当たり約 1,500-2,000 本) の 2 つの分けつ集団から構成された (図Ⅲ-2-3 (A))。

5 番草, 6 番草および越冬前の再生分けつ数は刈取後

間もない頃から 1 m²当たり 3,000 本程度以上で推移し (図Ⅲ-2-3 (A)) , それらの多くは刈跡が認められた。したがって 5 番草以降の再生分げつの主体は、4 番草の収量に寄与した分げつ (4 番草における再生分げつ) が刈取後も再生を繰り返したものであった (図Ⅲ-2-3 (A) , 図Ⅲ-2-4 (C, D)) 。

考 察

1. 多回刈りがチモシー品種の新旧分げつの交代時期に及ぼす影響

実験 1 の結果、多回刈り条件では、「ノサップ」は 1 番草から 2 番草にかけて、また「ホクシュウ」は 1 番草から 3 番草にかけて、栄養茎の数、茎重および現存量は、年次にかかわらず (「ノサップ」4 年目の栄養茎数を除く) , いずれも経時的に減少した (図Ⅲ-2-1, Ⅲ-2-2) 。このことは、多回刈りにおいても伸長茎の出現が盛んになる時期 (2, 3 番草) は、頂芽優勢 [106] により新分げつの発生が抑制されていたことを示唆した [32] 。一方、「ノサップ」では 2 番草、「ホクシュウ」では 3 番草において、現存量の多くが伸長茎から構成され (図Ⅲ-2-1 (B)) , 伸長茎数割合は年間で最大となった (図Ⅲ-2-1 (A)) 。そして両品種ともそれらの刈取りによって、伸長茎の多くが刈り取られた後、次番草 (3 番草または 4 番草) で栄養茎 (新分げつ) 数が顕著に増加した (図Ⅲ-2-1 (A)) 。つまり「ノサップ」では 2 番草、「ホクシュウ」では 3 番草の刈取りの前後において、新旧分げつの世代交代が顕著に生じた。したがって、多回刈りでは分げつの交代時期に品種間差が認められた。

一方実験 2 における「ホクシュウ」の再生草構成分げつの形態と数の調査結果から、3 番草の再生分げつは、前番草 (2 番草) 刈取時に既存の分げつが主体であったが、その多くは 3 番草生育期間中に伸長茎となり (図Ⅲ-2-3 (A, B) , Ⅲ-2-4 (A)) , 3 番草は伸長茎数割合が年間で最大となった (図Ⅲ-2-3 (B)) 。そして 3 番草の刈取りによって、6-7 月に伸長茎となる分げつの大半が刈り取られた後、4 番草で栄養茎 (新分げつ) 数が顕著に増加した (図Ⅲ-2-3 (A)) 。このことは、チモシー「ホクシュウ」を多回刈りすると、実験 1 と同様に 3 番草の刈取りの前後において、新旧分げつの世代交代が盛んに生じることを示していた。

このように、6-7 月 (本実験では 2, 3 番草の生育時期に相当) に、多くの分げつが生育段階を伸長茎へと転換し、刈取後に茎頂を失って再生不能となる代わり

に、刈株から多数の新分げつが発生してそれらと置き換わる季節的生育推移は、採草利用における 1 番草刈取りの前後 (本章第 1 節) と同様であった。なお、他の番草では、再生草の生長は主として前番草刈取時に既存の分げつの生長に依存した。

2. 多回刈りが収量構成分げつの発生時期と生存期間に及ぼす影響

一方で、第 1 節実験 2 および本節実験 2 から、採草利用、多回刈りともに、これら分げつの主要な交代期を除けば、地上部は主として未伸長茎 (栄養茎) で構成され、加えて既存分げつは栄養生長段階にある限り、刈取後も再生を繰り返すことが認められた [83, 179] 。そこでこの結果をもとに第 1 節および第 2 節の実験 1 で調査したチモシー品種の生育段階別分げつ数の推移から、各利用頻度の条件下において、各番草で伸長茎となった分げつ集団について、その発生活消長を推定し、採草利用は図Ⅲ-2-5、多回刈りは図Ⅲ-2-6 に示した。

図Ⅲ-2-5 にみられるように、採草利用条件では、伸長茎となった分げつ集団の発生後の生存期間はいずれも 1 年以内と推定された [63, 79] 。

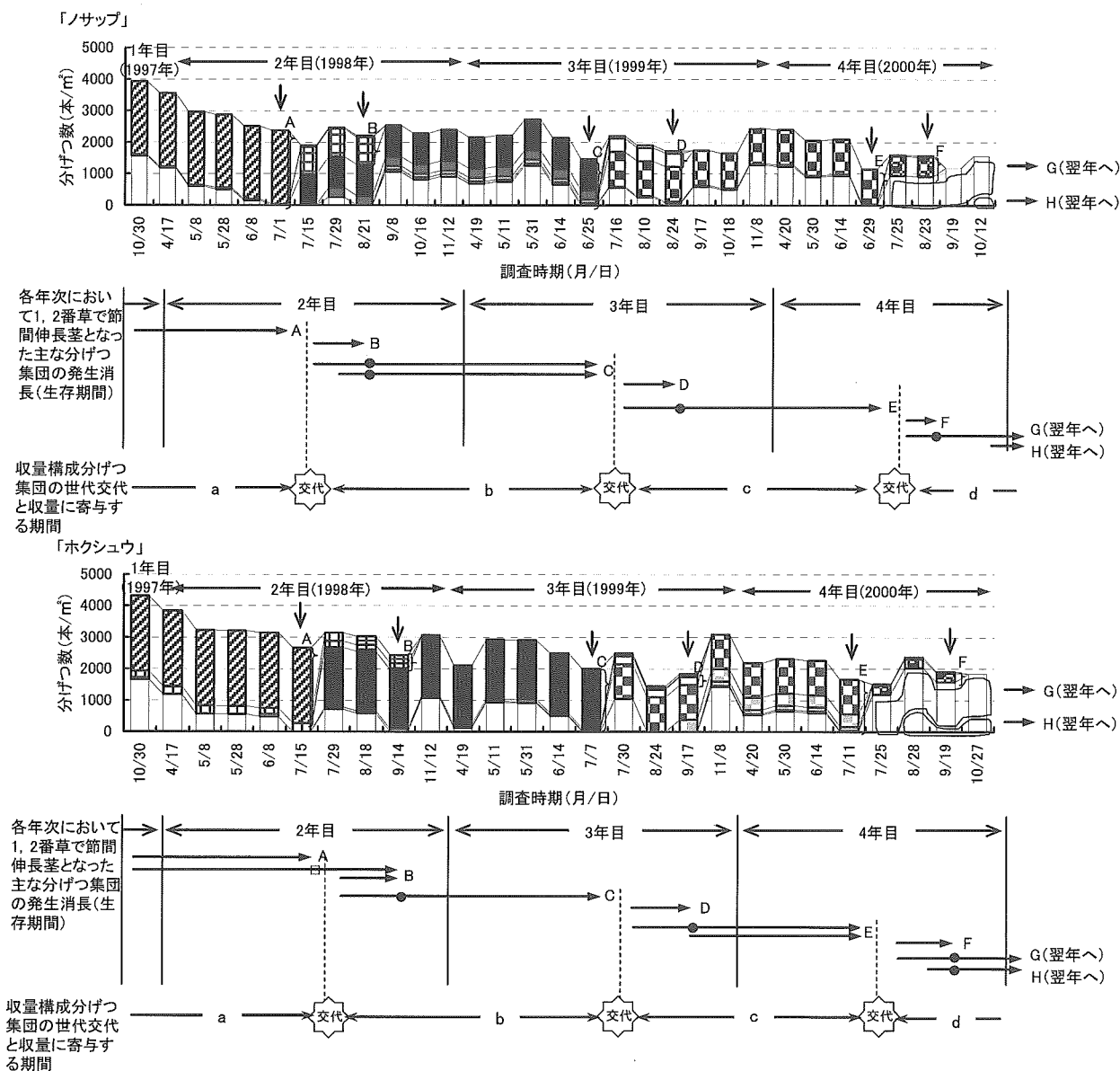
多回刈り条件では、図Ⅲ-2-6 から、「ノサップ」の 2, 3 番草の伸長茎 (A, B, C, D, E, F) , 「ホクシュウ」の 3 番草の伸長茎 (B, D, F) の多くは、前年の 6 月ないし 7 月以降に発生し、採草利用における分げつと同様に、発生後の経過期間が 1 年以内であったことが示唆された。一方、「ノサップ」の 4 年目 1 番草で出現した伸長茎 (D') (392 本/m²) は、発生後 1 年以上経過した分げつであることが示唆された。また、「ホクシュウ」の 3, 4 年目の 2 番草の伸長茎 (C (975 本/m²) , E (725 本/m²)) についても、その多くが前年 3 番刈時に栄養茎として経過した分げつであり、発生後の経過期間が 1 年以上に及んだことが示唆された。Jewiss (1972b) [63] は、チモシーの栄養茎の生存期間は、まれに、あるいは頻繁な刈取りを行うと、1 年以上に及ぶ場合が見られるとしたが、本実験においても、多回刈り条件では 1 年以上に及ぶ分げつが生じることが示唆された。

3. 多回刈りが伸長茎出現盛期の刈取りの前後 (新旧分げつの交代盛期) における生育段階別分げつ構成内容に及ぼす影響

本節実験 2 において、「ホクシュウ」を用いた多回刈り条件では、伸長茎出現盛期 (3 番草) において、分げつの半数近くが茎頂を刈り残される未伸長茎 (栄養茎) として経過し (図Ⅲ-2-3) , 7 月-8 月上旬に

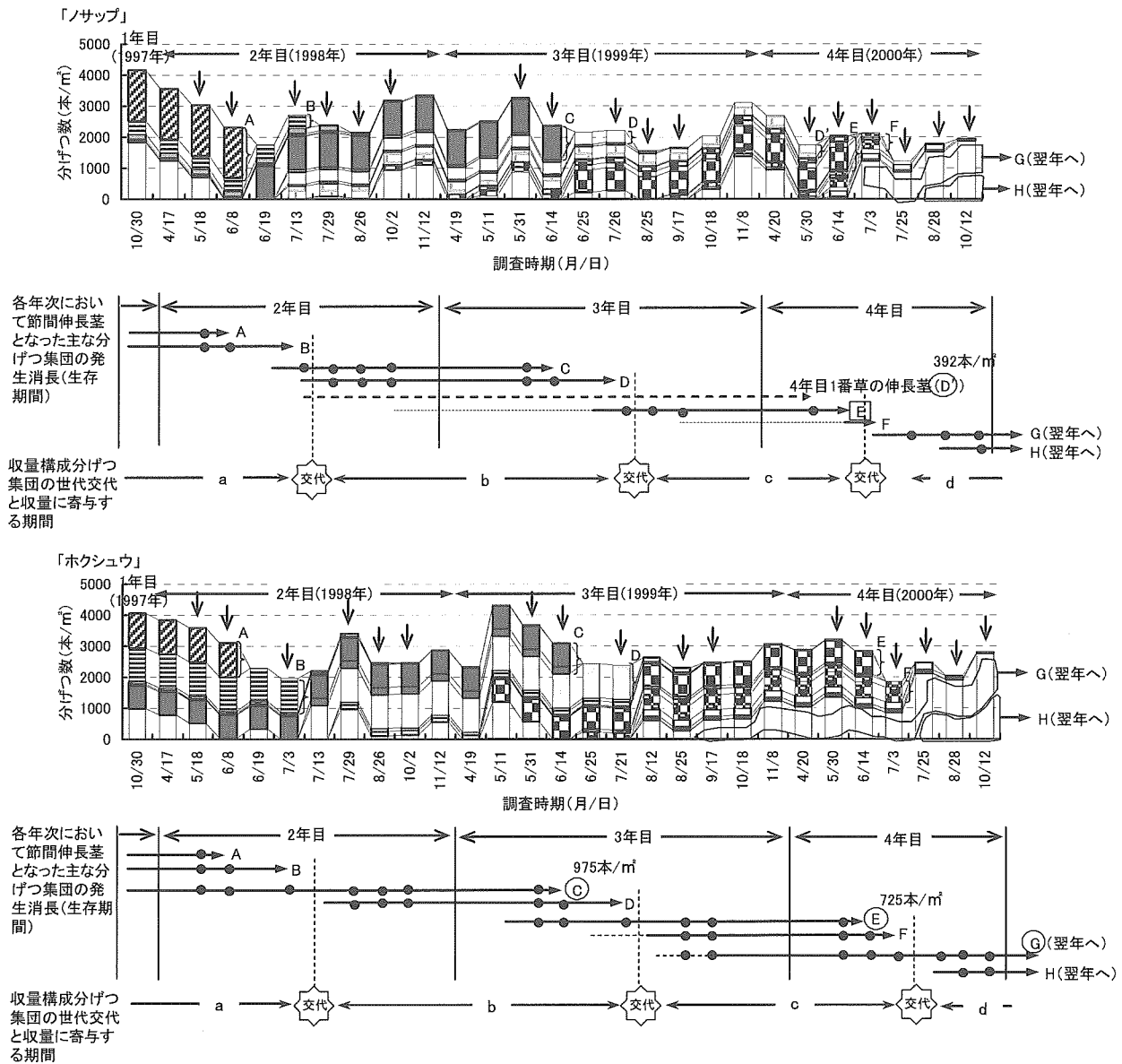
生育した4番草の再生分げつは、刈取後に発生した新分げつと、前番草までに発生済みの既存分げつの2つの分げつ集団から構成されていた(図Ⅲ-2-3)。そして、8月(5番草)以降は、各番草とも再生分げつの大半に刈跡が認められたことから、7月(4番草)に再生した分げつの多くが8月以降も再生を繰り返し、翌

年6、7月の伸長茎の出現盛期にかけて、茎葉生産の主体を担って推移したと推察された(図Ⅲ-2-3, Ⅲ-2-4(C, D))。つまり、3番草で栄養茎として経過した分げつの多くは、その後の刈取後も再生を繰り返し、茎葉生産に寄与したと推察された。



図Ⅲ-2-5. 採草利用条件下において推定したチモシー品種の分けつ集団の発生消長。

下向き矢印(↓)は刈取期を示す。1, 2番草刈取時に節間伸長茎として存在した分けつ集団のうち、主な分けつ集団(便宜的に1㎡当たり200本以上存在した場合とした)にアルファベット(A-F)を付すとともに、その発生から伸長茎となって刈取られるまでの生存期間を横向きの矢印(→)で示した。●は刈取時に節間未伸長茎(栄養茎)として経過し、当該刈取時に乾物収量に寄与したことを示す。□は栄養茎として経過したが乾物収量への寄与は期待できなかったことを示す。



図Ⅲ-2-6. 多回刈り条件下において推定したチモシー品種の分げつ集団の発生消長。

下向き矢印(↓)は刈取期を示す。各番草刈取時に節間伸長茎が集団として1 m²当たり300本以上認められた場合にアルファベット(A-F)を付すとともに、その発生から伸長茎となって刈取られるまでの生存期間を横向きの矢印(→)で示した。●は刈取時に節間未伸長茎(栄養茎)として経過したことを示す。○の囲みは発生から茎頂を刈り取られるまでの生存期間が1年以上に及んだものと推定された分げつ集団。

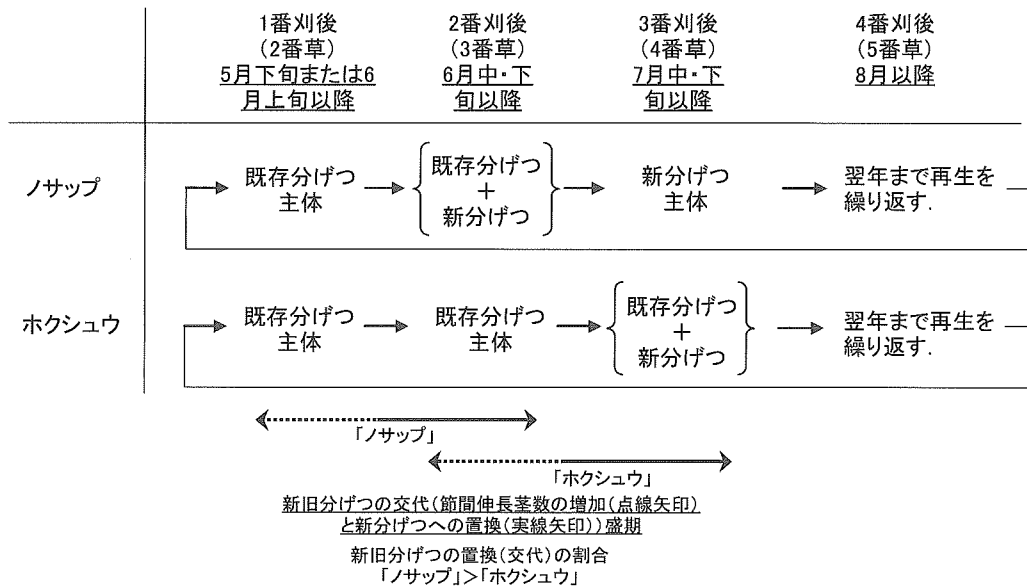
つまり、多回刈り条件では、新旧分げつの交代が盛んになる時期の刈取後(7月)の再生分げつは、新分げつだけでなく、半数近くが既存分げつから構成された。したがって、多回刈りは、同時期(1番草刈取後:7月)の再生分げつの大半が刈跡無しの新分げつに置き換わる採草利用条件(本章第1節)と比較して、再生分げつの構成内容に相違が認められた。

なお、図Ⅲ-2-6から、「ノサップ」は2年目と4

年目において、伸長茎の出現盛期(2番草)に栄養茎として経過した分げつの多くは年内(主として3番草)に伸長茎となった。そのため、3年目を除いて、「ノサップ」は、夏季以降翌年春季にかけて茎葉生産に寄与する分げつは、2番刈後(3番草)に発生する新分げつが主体となった。これに対して、「ホクシュウ」では、各年次とも2番草で栄養茎として経過した分げつの約半数は年内(3番草)に伸長茎となったが、残り

の約半数は3番刈時も栄養茎として経過し、4番草以降は新たに発生した分げつとともに、翌年春季に伸長茎となって刈取られるまでの期間、茎葉生産に寄与したことが示唆された(図Ⅲ-2-6)。これらのことから、「ノサップ」と「ホクシュウ」の3、4番草におけ

る再生草の分げつ構成には、図Ⅲ-2-7に示すような品種間差異が認められると推察され、「ノサップ」は夏以降の再生が、「ホクシュウ」より新分げつの確保に依存する度合いが大きいものと推察された。



図Ⅲ-2-7. 多回刈り条件下で再生草を構成する主要分げつの来歴における品種間差異。

小 括

チモシー早生品種「ノサップ」および晩生品種「ホクシュウ」はいずれも、北海道において、放牧を想定した年間5-6回の刈取り(多回刈り、刈取時草丈29-48cm)を行うと、採草利用(年間2回刈り)条件と同様に、6-7月の伸長茎数割合が高くなる番草(ただし「ノサップ」は2番草、「ホクシュウ」は3番草と品種間で時期に違いが認められた)の刈取りの前後において新旧分げつの世代交代が顕著に認められた。一方、多回刈りすると、伸長茎数割合の高い番草であっても総分げつ数に占める栄養茎数の割合は、3か年の平均で、「ノサップ」が42%、「ホクシュウ」が52%と、採草利用条件と比べて明らかに高かった。したがって、多回刈り条件における分げつ交代期の生育段階別分げつの構成内容は、1番草刈取後(7月)の再生分げつの大部分が新分げつに置換する採草利用条件(本章第1節)と比較して違いが認められた。

なお、「ノサップ」では2番刈時に栄養茎として経過した分げつの多くが年内(主として3番草)に伸長

茎となり、その後の茎葉生産は主として新生分げつに依存したが、「ホクシュウ」では3番刈時に栄養茎として経過した分げつはその後にも年内は栄養茎として経過し、3番刈後に発生した新分げつとともに翌春にかけて茎葉生産に寄与したものと推察された。したがって、多回刈り条件では各番草の収量を構成する分げつ集団の発生の季節的消長に品種間差異が認められた。また、多回刈り条件下における主要分げつの生存期間は、「ノサップ」では一部の分げつを除いて採草利用と同様に概ね1年以内であるが、「ホクシュウ」では年次にかかわらず1年以上に及ぶ分げつが生じることが示唆された。

第3節 刈取りがチモシーのジェネット当たり分けつ数の増加に及ぼす影響

ここではポットに移植した個体植の条件(孤立状態)で刈取りがジェネット当たりの分けつの増殖(栄養繁殖)に及ぼす影響について検討を行った。

材料と方法

上川農業試験場天北支場において、ポット栽培により試験を実施した。チモシー「キリタツプ」を単播で播種して造成した草地(造成後4年目)から、2-9本の分けつを有し、草丈12cm前後で、茎葉の総量に大差のないチモシーの個体(ジェネット)を2007年5月14日に堀取り採取し、1/2,000aポット(褐色森林土を充填)に3個体ずつ移植した。ポットはガラス室内に静置し、適宜十分な灌水を行った。

利用(刈取)頻度の処理として、無刈取り、年間2回刈り(少回刈り)、年間5回刈り(多回刈り)の3水準の処理区を設けた。刈取高は地際より7cmとした。刈取月日は、少回刈区では6月28日と9月5日、多回刈区では6月8日、6月21日、7月3日、8月8日、9月5日であった。少回刈区の1番草は出穂期に刈取りを行った。各処理区とも5ポット15個体を供試した。

分けつ数の調査を5月21日から11月6日にかけて、最終調査(11月6日)を除いて7-19日の間隔で行った。伸長茎数の調査は無刈取区では節の上昇が認められた茎の数を計測し、少回刈区と多回刈区では各刈取時に茎頂を刈取られ再生不能となった稈茎の数を当該刈取時に生存した伸長茎として計測した。

結果と考察

図Ⅲ-3-1に無刈取区、少回刈区および多回刈区において経時的に増加したジェネット当たりの分けつ数(枯死茎や刈取りで再生できなくなった伸長茎数を含む累積値)と相対分けつ増加率[27]の季節変化を示した。図Ⅲ-3-1に示したように、少回刈区では分けつ数が最も多く増加し、越冬前(11月6日)までに認められた分けつ総数は27.2本であった。これに対して、無刈取区と多回刈区では生育期間中における分けつ数の増加は少回刈区より少なく、11月6日までに認められた分けつ総数は、それぞれ22.7本、22.6本と類似

した数であった。

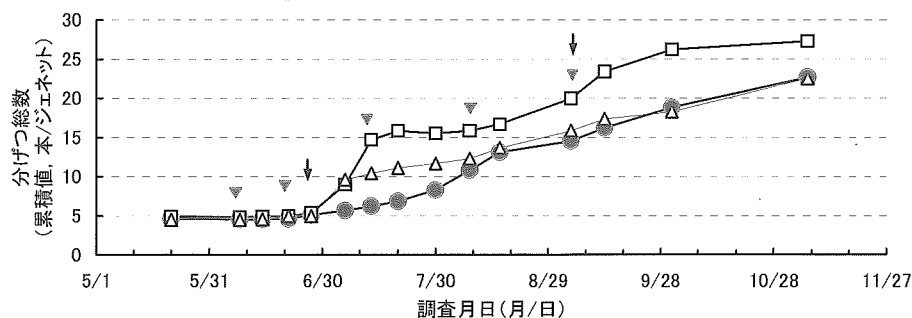
また、相対分けつ増加率(図Ⅲ-3-1)は、少回刈区の1番刈後(7月上・中旬)、多回刈区の2番刈後(7月上旬)において、同時期の無刈取区と比較してとくに高くなった。少回刈区では1番刈時、多回刈区では2番刈時に伸長茎数が年間で最も多く出現した(データ省略)。このことから、少回刈区と多回刈区では、伸長茎の刈取りにより頂芽優勢が打破され、新分けつの発生が促されたことが示唆された。一方、無刈取区では相対分けつ増加率は開花が終了した8月上旬頃に年間で最も高くなったことから、無刈取りの場合、開花終了後に頂芽優勢の影響が弱まることが示唆された。

越冬前(11月6日)までに認められたジェネット当たり分けつ総数(図Ⅲ-3-1)と処理開始前(5月21日)のジェネット当たり分けつ数の差から、生育期間中に増加したジェネット当たりの分けつ総数を求めると、無刈取区は18.1本(22.7本-4.6本)、少回刈区は22.4本(27.2本-4.9本)、多回刈区は18.1本(22.6本-4.5本)であった。したがって、生育期間中に増加した分けつ数は少回刈区が最も多く、無刈取区と多回刈区は同程度で少回刈区より少なかった。つまり、年間2回刈りに対して、年間5回刈りはジェネット当たりの分けつ増加数は少なかった。このことから、ジェネット単位でみれば、刈取りは無刈取りと比べて分けつを促す効果があるが、刈取頻度の増加は必ずしも分けつをさらに促進するわけではないと考えられた。

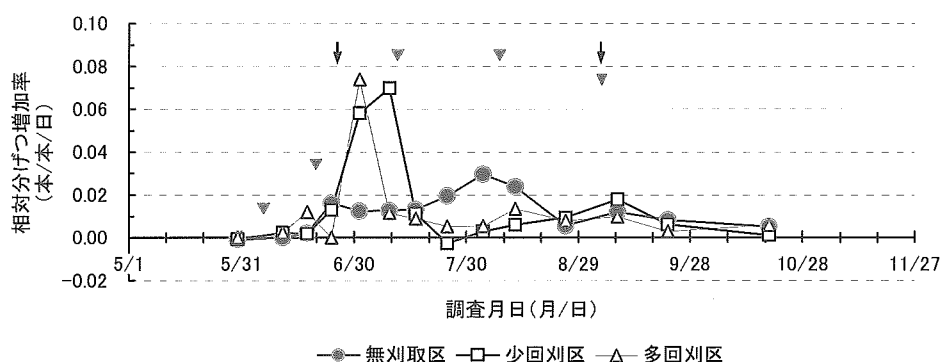
表Ⅲ-3-1に越冬前までに認められたジェネット当たり分けつ総数の内訳として、生育期間中に出現した伸長茎総数と越冬前の生存分けつ(いずれも栄養茎であった)数を示した。出現した伸長茎の数は、無刈取区では5.2本と5月に存在した分けつ数と大差がなかった(5月の1.13倍)のに対し、少回刈区では8.3本(同1.69倍)、多回刈区では7.7本(同1.71倍)といずれも5月より多かった。このことは、少回刈区と多回刈区では、刈取りによって発生した新分けつが伸長茎に生育相を転換できたことを示していた。越冬前の生存分けつは、越冬分けつとなるが、その数は無刈取区が17.5本、少回刈区は18.9本、多回刈区は14.9本と、多回刈区はやや少ない傾向にあった。

以上のことから、ジェネット単位でみれば、刈取頻度が高くなるほど、増殖する分けつ数は減少する傾向にあることが認められた。

A. ジェネット当たり分けつ総数(累積値)の推移



B. 相対分けつ増加率の季節変化



図Ⅲ-3-1. 刈取りとチモシーのジェネット当たり分けつ数および季節別相対分けつ増加率の推移との関係。
 中生品種「キリタツプ」, 5ポット (1/2, 000a, 褐色森林土充填) 15個体の平均値。

↓: 少回刈区 (年間2回刈区) の刈取期, ▼: 多回刈区 (年間5回刈区) の刈取期。

A. 分けつ総数 (ジェネット当たりの累積値)

経時的に増加したジェネット当たり分けつ総数の推移。生育期間中に生長点を刈り取られ再生不能 (非再生茎) となった分けつを含む累積値。

B. 相対分けつ増加率

相対分けつ増加率 (R) = $(\ln N_2 - \ln N_1) / (t_2 - t_1)$. N_1, N_2 は t_1, t_2 のときの分けつ数 (過去に発生した非再生茎数を含む累積値). 横軸の日付は t_1 と t_2 の日付 (月/日) の中央値とした。

表Ⅲ-3-1. 刈取りとチモシーのジェネット当たり分けつ数の増加との関係。

刈取頻度	a. 処理開始前 分けつ総数 (本/ジェネット)	b. 越冬前までの分 げつ総数累積値 (本/ジェネット)	c. 生育期間中に 増加した 分けつ総数 (本/ジェネット)	d. 生育期間中に 出現した 節間伸長茎総数 (本/ジェネット)	e. 越冬前の 生存分けつ (栄 養生長茎) 数 (本/ジェネット)
無刈取区	4.6	22.7	18.1	5.2	17.5
少回刈区	4.9	27.2	22.4	8.3	18.9
多回刈区	4.5	22.6	18.1	7.7	14.9

処理開始前: 5月21日, 越冬前: 11月6日. $c = b - a$. $e = b - d$.

小 括

無刈取区, 年間2回刈区 (少回刈区), 年間5回刈区 (多回刈区) を設け, 刈取りが生育期間中におけるチモシーの個体 (ジェネット) 当たりの分けつ数の増加に及ぼす影響を検討した。ジェネット単位

でみれば, 刈取りは無刈取りと比べて分けつを促す効果があるが, 刈取頻度の増加は必ずしも分けつを一層促進するわけではないと考えられた。ジェネット単位でみれば, 刈取頻度が多くなるほど, 増殖する分けつ数は減少する傾向にあることが認められた。

第IV章 チモシーの分けつ密度維持を阻害する要因

本章では、北海道で栽培されるチモシーの分けつ密度維持を阻害する要因について検討する。チモシーの分けつ密度を減少させる要因として、人為的な攪乱[119]の一種である刈取り、他種植物との相互作用である競争[1]、環境ストレスとして土壤水分の不足[188]を挙げることができる。

第1節 利用頻度

本節では利用（刈取り）頻度が分けつ密度に及ぼす影響について検討する。チモシーは、その形態的、生理的特性に起因して、イネ科草種の中では刈取後の再生が劣る草種であり[154]、高頻度の利用には適応性の低い草種である。

これまでチモシーでは刈取頻度が高いほど分けつ密度はむしろ高くなることが報告されている[45, 46, 56, 81]。しかし、チモシーの分けつ密度維持に対し、刈取頻度の増加がどのような影響を及ぼすかについて、国内の主要な栽培地域である北海道では、これまで詳細な調査報告はみられない。

そこで本節では、チモシーを他草種の影響を排除した単播条件で栽培し、利用（刈取り）頻度の増加が分けつ密度の推移に及ぼす影響について検討した。

材料と方法

利用頻度の増加が個体群条件下における分けつ密度の推移に及ぼす影響については、第III章第1節実験1および第2節実験1のデータを用いて解析を行った。そのほか、考察において、利用頻度とジュネット当たりの分けつ数の増加との関係を検討した第III章第3節の結果を引用した。

結果と考察

1. 利用頻度の増加（多回刈り）がチモシー品種の分けつ密度に及ぼす影響

図IV-1-1に採草利用条件（第III章第1節実験1）ならびに多回刈り条件（第III章第2節実験1）における分けつ数の季節的推移を、また図IV-1-2にそれらの経年的推移を示した。なお各実験はいずれも単播栽培で行い、畦間や畦内に発生した雑草は適宜除草した

ことから、他草種との生育競争の影響は排除されていたと考えられる。また、施肥は、北海道施肥標準[35]に準じて行ったほか、一般に根釦地方は生育期間を通して土壤は湿潤な状態で推移するが、本実験の生育期間中においても土壤水分の不足による生育の抑制は認められなかった。

刈取りは人為的な攪乱の一つであり、多回刈りは採草利用と比べ、より頻度の高い攪乱とみなせる。シロクロバ混播・多回刈り条件では、チモシーは枯死個体が発生し、枯死個体率には大きな品種間差が認められ、「ノサップ」は「ホクシュウ」より枯死個体率が高かった[12]。また、チモシーを集約放牧で利用する場合、品種は晩生の「ホクシュウ」が、被度が低下しにくいことから、「ノサップ」を含む他の品種よりも適しており、かつ利用時の草丈は入牧前 30-40cm、退牧時 10-20cm が望ましいとされている[38, 130]。しかし、本研究第III章第2節の実験1において、多回刈り条件（年間5-6回刈り）下で分けつ数を4年間調査した結果、早生品種「ノサップ」、晩生品種「ホクシュウ」ともに、欠株の発生は認められず、両品種とも分けつ総数は、むしろ採草利用（年間2回刈り）条件下より高く維持された（図IV-1-1, IV-1-2）。

このことから、他草種との生育競争の影響が存在せず、土壤中の栄養分や水分の不足なども無い条件下では、チモシーは、「ノサップ」、「ホクシュウ」ともに草丈 30-40cm を目安に刈取りを繰り返すような多回利用を行っても、分けつ密度は密度依存的な調節[67]の範囲内において推移し、乾物（有機物）生産に必要な分けつ密度は維持されると考えられた。

2. 個体群条件下におけるチモシーの分けつ密度が利用頻度の増加に伴い高く推移した要因

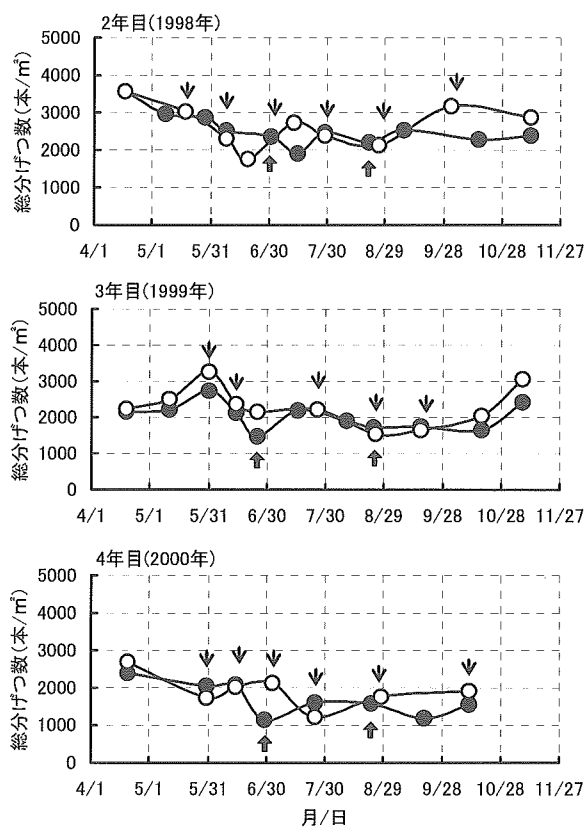
一般に、分けつ密度が十分に高く、分けつサイズのばらつきが大きくなると、分けつ間に競争が生じる[1, 67]。そのとき、伸長茎のような茎重が相対的に大きな分けつに対して、栄養茎などの茎重が相対的に小さな分けつは分けつ間の競争によって枯死しやすい。しかし、多回刈り（第III章第2節実験1）条件下で認められた「ノサップ」および「ホクシュウ」の伸長茎は、その割合が年間で最も高くなる番草（2番草または3番草）においても、採草利用（第III章第1節実験1）1番草と比べると、その数、割合ともに明らかに低かった。すなわち、多回刈り条件では採草利用条件と比較

して、伸長茎出現盛期の刈取りの前後（新旧分けつの交代の盛期）においても栄養茎が多く認められた（図Ⅲ-2-1（A）、図Ⅲ-2-3（A））。これらのことは、多回刈りは分けつ間競争を緩和する方向に作用することを示唆した。一方、第Ⅲ章第3節において、刈取頻度とチモシーのジェネット（孤立個体）当たりの分けつ数の増加との関係を検討した結果、刈取頻度が高くなるほどジェネット当たりの分けつ数の増加はむしろ抑制される傾向にあることが認められた。

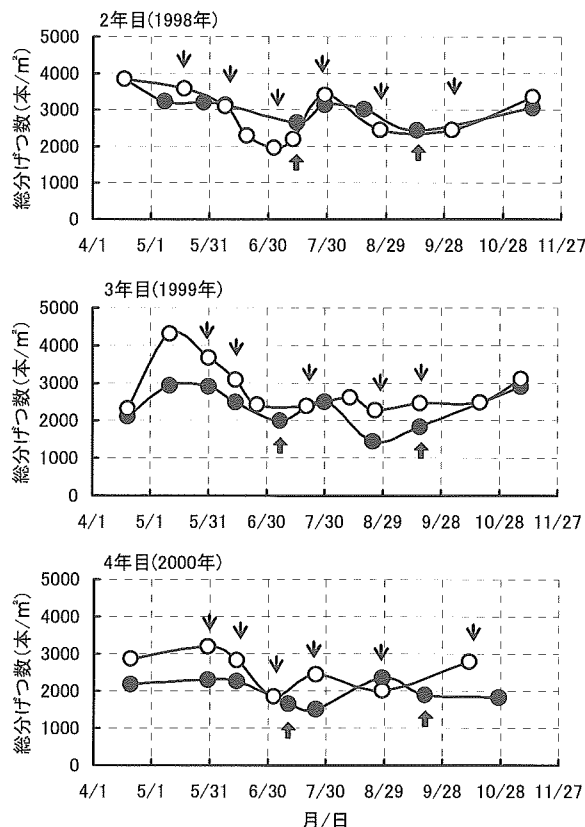
これらのことから、利用頻度が増加するほど個体群条件下におけるチモシーの分けつ密度が高く推移する現象は、刈取りによって分けつが促進されることによるのではなく、刈取りによって分けつ間の競争が緩和され、淘汰されずに生存できる栄養茎が採草利用条件より多かったことによるものと推察された。

小 括

チモシー早生品種「ノサップ」および晩生品種「ホクシュウ」は、いずれも単播で適宜除草を行い、他草種との競争の影響を排除した条件では、多回刈り（年間5-6回刈り）を適用しても、欠株の発生は認められなかった。むしろ、採草利用（年間2回刈り）条件よりも分けつ密度は高く推移する傾向にあった。したがって、チモシーの個体群は多回刈りを適用しても、他草種との生育競争、土壤中の栄養分や水分の不足などが無い条件下では、分けつ密度は密度依存的な調節の範囲内で推移し、乾物生産に必要な分けつ密度は維持されると考えられた。



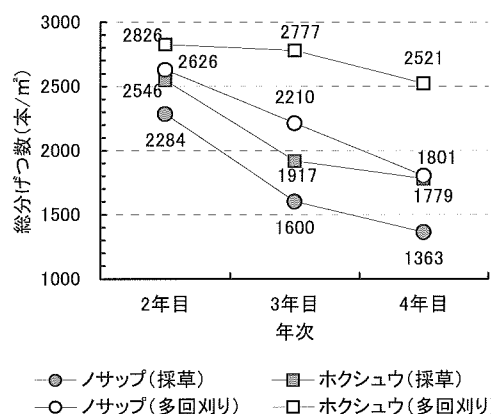
● 採草利用 ○ 多回刈り
「ノサップ」



● 採草利用 ○ 多回刈り
「ホクシュウ」

図Ⅳ-1-1. 刈取頻度がチモシー品種の総分けつ数の季節的推移に及ぼす影響。

採草利用は年間2回刈り，多回刈りは2，4年目が年間6回刈り，3年目が年間5回刈り。太い矢印は採草利用，細い矢印は多回刈りにおける刈取期を示す。



図IV-1-2. 刈取頻度と分げつ数の経年変化との関係。
各年次の分げつ数は各番草刈取期の分げつ数の年間平均値。

第2節 草種間の競争

第Ⅲ章および本章第1節において、チモシーは利用頻度にかかわらず、単播で手取り除草を行い、他草種との競争の無い条件下では、欠株の発生は認められず、必要十分な分げつ密度が維持されることを示した。そこで本節では、とくに他草種の混播がチモシーの収量、構成割合ならびに被度に及ぼす影響について明らかにし、種間競争と草地におけるチモシーの密度維持との関係について検討する。

なお、チモシーの被度の低下は分げつ密度の低下に起因するものであり、両形質は密接に関連すると考えられることから、本節では主として被度を密度の指標とした。

第1項. シロクロバ混播条件下における利用頻度がチモシーの収量および被度に及ぼす影響

一般にチモシーは、シロクロバ、アカクロバ、アルファルファ、ガレガなどのマメ科牧草と混播栽培されることが多い[134]。なかでもシロクロバは、品種の小葉サイズによって異なる草勢を示すが、適切な品種選定を行えば、国内流通のいずれのチモシー品種とも混播することができる。

ここでは、チモシー品種をシロクロバと混播栽培し、採草利用、採草・放牧兼用利用および放牧利用を想定した頻度の異なる刈取り処理を適用し、シロクロバの混播がチモシーの収量および被度に及ぼす影響について検討した。

材料と方法

本実験は根釧農業試験場圃場（北海道標津郡中標津町）で試験区を造成して実施した。チモシーの供試品種は、早生品種「ノサップ」、中生の晩の品種「キリタツプ」、晩生品種「ホクシュウ」とし、いずれもシロクロバ中葉型品種「ラモーナ」を混播した。播種期は1997年6月4日、播種法は散播とした。採草利用（年間2回刈り、以下採草）、採草・放牧兼用利用（年間4回刈り、以下兼用）および多回刈り（年間6回刈り）の頻度の異なる刈取りを行う試験区を、いずれも3反復の乱塊法で設置した。なお、「ノサップ」は採草と兼用、「キリタツプ」と「ホクシュウ」は採草、兼用および多回刈りの刈取り処理区を設けた。播種年はいずれの処理区とも掃除刈りを2回（刈取月日：7月30日、9月22日）実施した。生育および収量の調査は、播種後2年目（1998年）から播種後4年目（2000年）にかけて実施した。調査項目は、各番草の草種別乾物収量 (kg/a)、冠部被度 (%)、草丈 (cm) とした。

表IV-2-1 に供試品種の各刈取り頻度の処理区における刈取月日を示した。播種後2年目以降の刈取りは、採草は1番草を出穂期に行い、2番草は品種によって異なったが、根釧地方における採草チモシー2番草の一般的な収穫期を想定し1番草刈取後約50-70日後に行った。兼用は、1番草を採草と同様に出穂期刈りとし、2番草以降は放牧（短草）利用を想定した多回刈りを行った。多回刈りは、放牧（短草）利用を想定し、草丈が30-40cm程度に達した時期を目安に刈取りを行った。

表IV-2-1. 刈取月日¹.

年次	番草	「ノサップ」区			「キリタツプ」区			「ホクシュウ」区		
		採草	兼用	多回刈り	採草	兼用	多回刈り	採草	兼用	多回刈り
2年目 (1998年)	1	6/29	6/29	- ²	7/6	7/6	5/28	7/10	7/10	5/28
	2	8/21	7/29	—	9/7	8/6	6/17	9/14	8/7	6/17
	3	—	8/24	—	—	9/1	7/17	—	9/1	7/17
	4	—	9/21	—	—	10/6	8/7	—	10/6	8/7
	5	—	—	—	—	—	9/1	—	—	9/1
	6	—	—	—	—	—	10/6	—	—	10/6
3年目 (1999年)	1	6/25	6/25	—	7/5	7/5	6/2	7/7	7/7	6/2
	2	8/23	7/26	—	9/8	8/6	6/18	9/16	8/9	6/18
	3	—	8/23	—	—	9/1	7/21	—	9/8	7/21
	4	—	9/21	—	—	9/28	8/12	—	10/12	8/12
	5	—	—	—	—	—	9/9	—	—	9/9
	6	—	—	—	—	—	10/19	—	—	10/19
4年目 (2000年)	1	6/29	6/29	—	7/5	7/5	5/29	7/11	7/11	5/29
	2	8/22	7/31	—	9/5	8/2	6/13	9/19	8/9	6/13
	3	—	8/27	—	—	8/30	7/5	—	9/5	7/5
	4	—	9/21	—	—	9/28	7/31	—	10/10	7/31
	5	—	—	—	—	—	8/30	—	—	8/30
	6	—	—	—	—	—	10/12	—	—	10/12

¹月/日. ²—は刈取調査無し.

結 果

1. 混播条件下における各草種の冠部被度

図IV-2-1に各番草刈取期の冠部被度（以下被度）を示した。いずれのチモシー品種区においても、利用頻度の増加に伴って、全般にチモシーの被度は低下し、シロクロバの被度は高くなった。

採草における被度は、「ホクシュウ」区の2, 3年目の2番草を除いて、品種、年次、番草にかかわらず、チモシーがシロクロバを上回った。

兼用における被度は、1番草と2番草では品種にかかわらず年次が経過してもチモシーがシロクロバを上回った。しかし3番草以降は、シロクロバがチモシーを上回る場合が認められた。「ノサップ」区は経年的に3, 4番草のチモシー被度が低下したが、「キリタツプ」区と「ホクシュウ」区では必ずしもそのような傾向は認められなかった。

多回刈りにおける被度は、「キリタツプ」区は2年目の4番草以降、3年目の2番草以降および4年目の各番草、「ホクシュウ」区では2年目の5番草以降、3年目の3番草以降および4年目の各番草において、チモシーがシロクロバを下回った。とくに多回刈りの3年目4番草以降は、「キリタツプ」区、「ホクシュ

ウ」区とも4年目にかけて、チモシーの被度は20%程度以下と著しく低下して推移した。

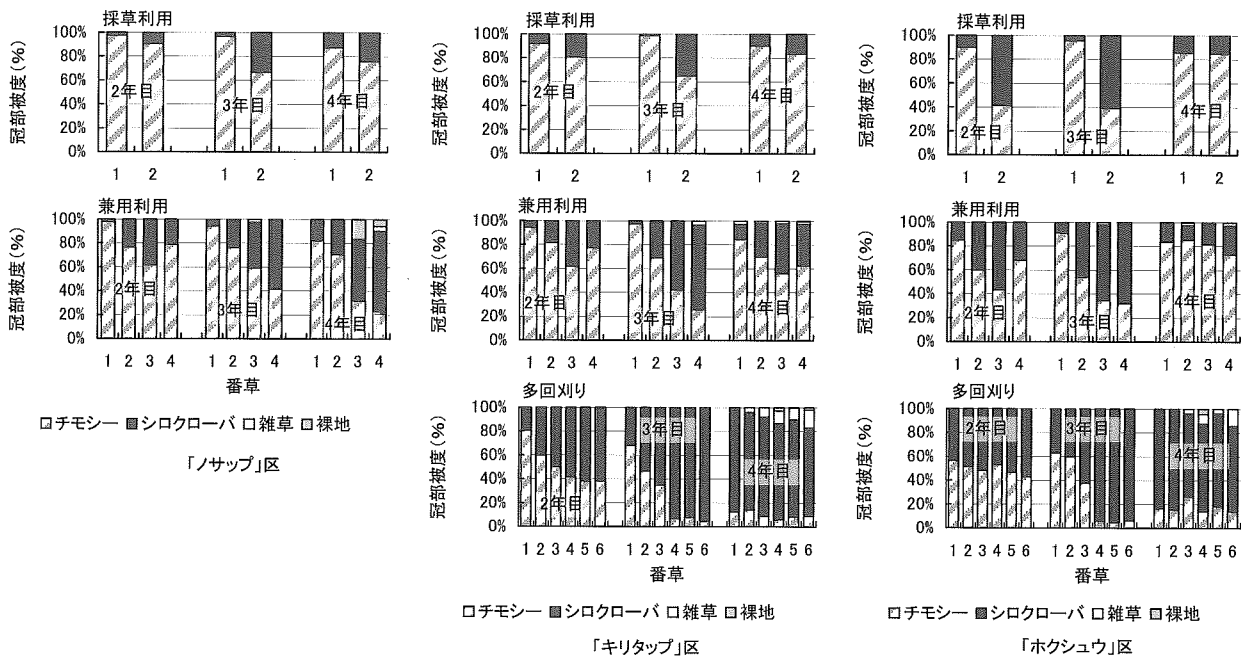
2. 混播条件下における各草種の乾物収量

図IV-2-2に年次別、番草別、草種別の乾物収量を示した。

採草ではチモシーの品種、年次にかかわらず、いずれの番草ともチモシー収量はシロクロバ収量より明らかに多収であった。

これに対し、多回刈りでは、「キリタツプ」区、「ホクシュウ」区とも、3年目3番草以降はシロクロバ収量がチモシー収量を上回った。また多回刈りの4年目は、3番草を除く各番草において、「キリタツプ」区、「ホクシュウ」区とも、チモシーとシロクロバとの合計収量が3年目までの各番草と比べて低下した。このことから、多回刈りのように利用頻度が増加すると、チモシー・シロクロバ混播草地における牧草の生産性は経年的に低下することが示唆された。

一方兼用では、1番草の草種別収量は、採草利用1番草と同様にチモシーがシロクロバを上回ったが、2番草以降の再生草における草種別収量は多回刈りに近似した傾向を示し、とくに3年目以降は、番草によってシロクロバ収量がチモシー収量を上回った。



図IV-2-1. 利用頻度がチモシー・シロクローバ混播草地における各番草の冠部被度に及ぼす影響。
混播相手シロクローバは中葉型品種「ラモーナ」。根釧農業試験場（北海道標津郡中標津町）。2年目は1998年，
3年目は1999年，4年目は2000年。

3. 混播条件下における各草種の草丈

各番草刈取期の草丈（図IV-2-3）は，チモシーの品種や利用頻度にかかわらず，いずれの年次，番草ともチモシーがシロクローバより高かった。

考 察

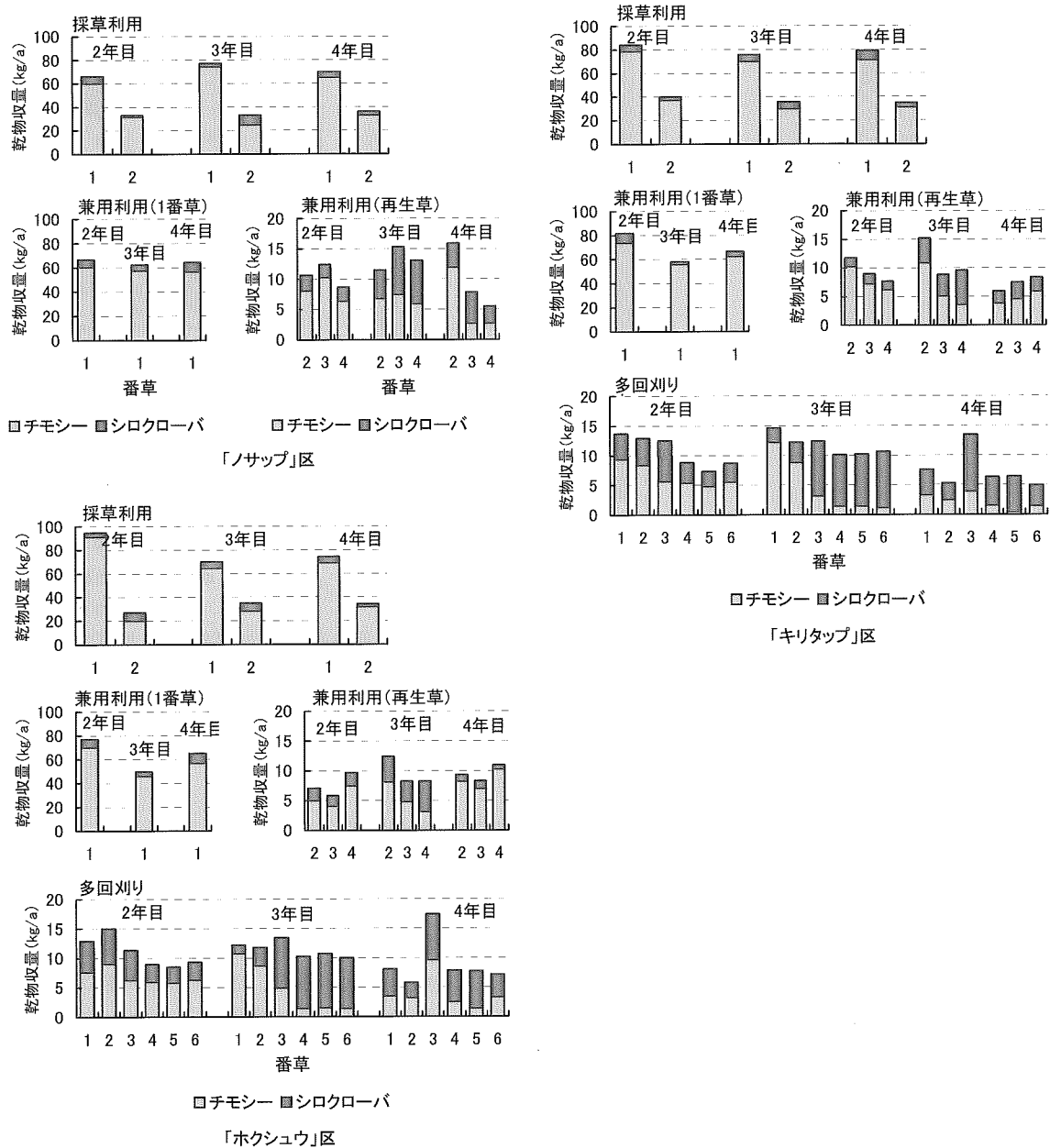
1. 利用頻度がチモシー・シロクローバ混播草地におけるチモシーの被度と種間の競争関係に及ぼす影響

イネ科牧草とマメ科牧草から構成される人工草地において，イネ科とマメ科の構成割合は，施肥などの栄養条件と，放牧，刈取りなどによって変化する[44, 61]。

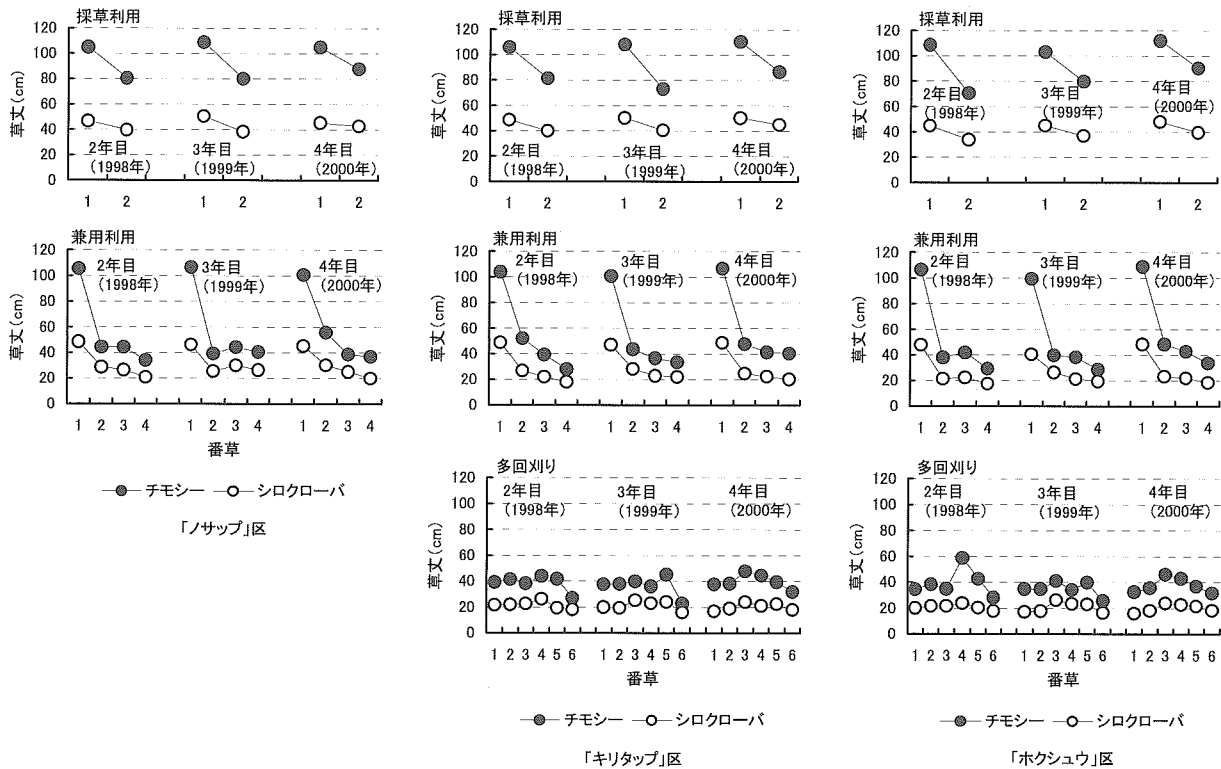
本項では，チモシー・シロクローバ混播草地において，採草（年間2回刈り）のように刈取頻度が低いと，刈取時の被度は，多くの場合チモシーがシロクローバを上回った（図IV-2-1）。岩城（1973）[61]は，一般にイネ科牧草とクローバの混播牧草地では，刈取回数を少なく（刈取間隔を長く）した場合や，家畜の放牧強度が小さい場合には，クローバ割合が減少するが，これはイネ科牧草とクローバの光に対する競争を介した間接的なクローバの生長抑制によるものと考えられるとした。本項の結果においてもこのような一般的傾

向が該当したものと考えられた。一方，イネ科牧草とマメ科牧草から構成される人工草地は，吸光係数の小さい直立葉型植物と吸光係数の大きい水平葉型植物との混合群落とみなすことができ，群落の光の利用効率には上層が垂直葉の草種，下層は水平葉の草種で構成されている場合において最も高いとされている[61, 76, 188]。したがって，採草条件におけるチモシー・シロクローバ混播草地の群落生産構造は，上層は直立葉型のチモシー，下層は水平葉型のシロクローバという階層構造（垂直的成層構造[188]）を示し，乾物生産の観点から好適な条件にあると言えよう。むしろ，葉層が下層を占めるシロクローバが衰退しないよう留意する必要があると考えられる[118]。

これに対して，多回刈り（年間6回刈り）のように刈取頻度が高くなると，チモシー・シロクローバ混播草地では，シロクローバが経時的に被度を拡大し，とくに3年目3番草以降はチモシーの被度を上回って推移した（図IV-2-1）。また，刈取頻度の増加に伴いシロクローバ収量は増加したものの，チモシー収量やチモシーとシロクローバとの合計収量は減少した（図IV-2-2）。



図IV-2-2. 利用頻度がチモシー・シロクローバ混播草地における各番草の乾物収量に及ぼす影響。混播相手シロクローバは中葉型品種「ラモーナ」。図によって縦軸の目盛が異なる。2年目は1998年、3年目は1999年、4年目は2000年。



図IV-2-3. 利用頻度がチモシー・シロクローバ混播草地における各番草の草丈に及ぼす影響。
混播相手シロクローバは中葉型品種「ラモーナ」。

シロクローバは、葉柄長以上に草丈が大きくなることはない。そのため、長草利用される採草では、草丈はチモシーより低くなる。しかし、多回刈りでは、チモシーとシロクローバの草丈は、採草や兼用1番草ほど、明確な差がないことに加え（図IV-2-3）、イネ科牧草は草丈が長く伸びれば葉身が屈曲することから、各刈取期におけるチモシーとシロクローバの草高差は草丈における差よりも縮小したと推察される。また、チモシーの分けつには、草丈測定の対象となった分けつ以外にも様々な長さの分けつが存在し、草高がシロクローバを下回り、シロクローバの小葉に遮光された分けつも多かった。一方、種間競争には葉層高の差に起因する被圧差と、葉の傾き、分布様式などに起因する吸光係数が重要である[61, 76]。ある2つの草種が群落内で同じ高さを占めていた場合、両草種間に吸光係数の差があれば、吸光係数が大きい種の受光量が大きくなる。シロクローバのような水平葉型のマメ科牧草は、チモシーのような垂直葉型のイネ科牧草と比べ、吸光係数が大きいことから[61, 76]、多回刈り条件のようにチモシーとシロクローバの草高にあまり差が無い場合には、シロクローバの受光量と光合成量

は、チモシーを上回ることが可能と考えられる[61]。このため、多回刈り条件ではシロクローバの乾物生産がチモシーを上回り、チモシーは経年的に構成割合や被度が低下して衰退したものと推察される。

以上のことから、チモシー・シロクローバ混播草地において、利用（刈取り）間隔が長くなれば、光をめぐる競争[51, 170]において、草高の高いチモシーが有利となり、反対に短くなればシロクローバが有利になると考えられた[118]。チモシーは、利用頻度が高くなるほど競争力が相対的に低下し、その結果被度が低下したと考えられた。

一方、兼用では、群落生産構造は、1番草は採草と類似し、多回刈りを行った2番草以降は多回刈りと類似したと考えられた。しかし、チモシーの品種や番草により違いは認められたものの、年間を通して多回刈りを実施した条件と比べて、4年目においてもチモシーの被度は必ずしもシロクローバを下回ることにはなかった（図IV-2-1）。これまで、草地の利用間隔によって、形成される草地のタイプが異なること[19]や、利用方法の変換による植生制御の可能性について報告がなされている[66, 167]。一方、人工草地では、遷移

[118]の進行を抑えてそれぞれの群落状態を維持するためには、絶えず人為作用が加えられなければならない、放牧、草刈り、火入れ、施肥量の調節などの人為作用が遷移の速度や方向に強い影響を及ぼす[76, 118]。これらのことから、チモシー・シロクロバ混播草地においても、競争の影響を軽減し、両草種の共存、植生構造の維持を図るには、適当な頻度、さらには適当なタイミングの刈取り[44, 183]が有効と言えよう。

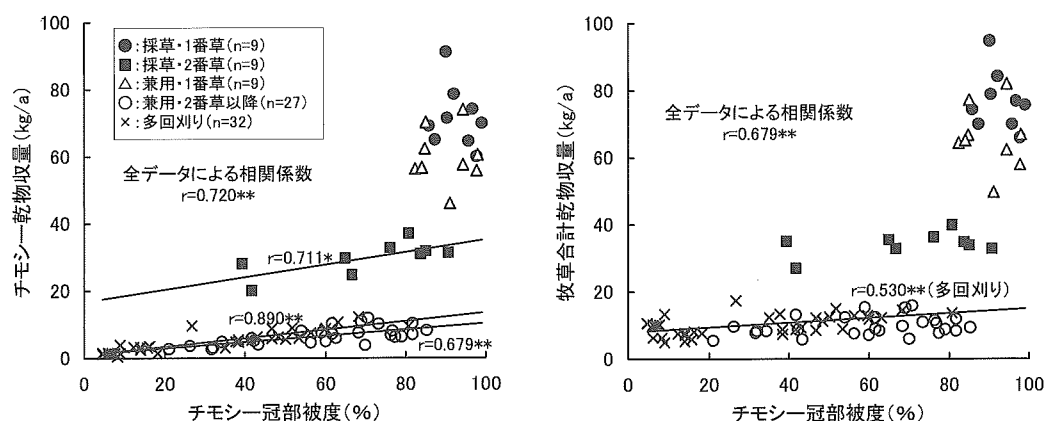
2. チモシーの被度と種間競争との関係

本章第1節において検討した単播かつ他草種を除草した栽培条件とは対照的に、本項におけるシロクロバとの混播栽培の条件では、利用頻度が増加するほどチモシーの被度は経時的に低下した(図IV-2-1)。したがって、草地におけるチモシーの密度の低下は、刈取りやその頻度の違いそのものの影響というよりも、他草種の混生条件下で生じる種間競争の影響がより重要な要因であると考えられた。

3. チモシーの競争力の季節変動

本項の多回刈り条件下において、とくにチモシーの

被度がシロクロバよりも低下した時期は、「キリタツ」区、「ホクシュウ」区とも3年目3番草以降であった(図IV-2-1)。第III章第2節でも認められたように、6月から7月にかけて生育した3番草(表IV-2-1)は伸長茎の割合が高く、刈取後はその多くが茎頂を失い、主として7月に再生する4番草において新分けつへ置き換わるが、新分けつは古い分けつの地際に存在する腋芽の生長に由来し、再生初期は母茎に栄養的に依存するため、再生に時間を要する。加えて、6月以降は気温の上昇に伴いシロクロバの生育が旺盛となる。これらのことから、当該刈取後のチモシーは、先に再生・展開するシロクロバの小葉に遮光された結果、被度を大きく低下させる結果を招いたと推察された。したがって、人工草地におけるチモシーの他草種に対する競争力は、利用頻度によるだけでなく、季節によっても変化し、とりわけ6-7月の伸長茎の出現が旺盛となる時期はチモシーが刈取後の再生力や競争力に劣り、密度を低下させやすい時期に当たると考えられた。



図IV-2-4. チモシー・シロクロバ混播草地における各番草のチモシーの被度と乾物収量との関係。

有意な相関係数が認められた場合に相関係数(r)と回帰直線を示した。*, **はそれぞれ有意水準5%, 1%で有意であることを示す。牧草合計収量はチモシーとシロクロバとの合計収量。

4. シロクロバ混播条件下におけるチモシーの被度と乾物収量との関係

図IV-2-4にチモシー・シロクロバ混播草地におけるチモシーの被度と乾物収量との関係を示した。

全調査を込みにした被度とチモシー収量との相関係数は0.720**と有意であったことから、利用頻度の増加に伴うチモシー収量の減少(図IV-2-2)は、各番草の生育期間短縮により草丈が短くなったことだけで

なく(図IV-2-3)、被度の低下にも起因した(図IV-2-1, IV-2-4)。

一方、利用頻度別に被度とチモシー収量との関係を見ると(図IV-2-4)、とくに利用時の草高が低く、被度の変動が大きかった条件(採草2番草、兼用2番草以降、多回刈り)では、被度とチモシー収量には高い相関が認められた。同様に、チモシーの被度と牧草(チモシー+シロクロバ)収量との相関を見ると、

とくに多回刈りでは有意な相関が認められた。このことから、シロクローバ混播条件では、利用頻度が高くなるほど、草地生産性の維持にとって、チモシーの密度維持のための対策が重要になると考えられた。

5. 利用条件に応じた適切な混播品種組合せ選定の重要性

本実験の結果（図Ⅳ-2-1, Ⅳ-2-2）から、各利用頻度の条件下におけるチモシー品種とシロクローバ中葉型品種との混播栽培の適否について判定した結果を表Ⅳ-2-2に示した。

兼用では、「ノサップ」より、「キリタップ」、
「ホクシュウ」が4年目のチモシー収量、被度において良好な値を示した。これは、チモシーの品種による1番草の刈取期までの生育期間の違いがシロクローバの生育抑制程度と関係し、2番草以降のシロクローバの生育量に差異をもたらしたことを示唆した。また、多回刈りにおいても、草地におけるチモシーの衰退を防ぎ、光合成による乾物生産を効率的に行

うには、群落の上層にチモシー、下層に水平葉型のシロクローバが葉層を形成できるように、より草勢の穏やかな小葉型のシロクローバ品種[135]の利用が対策の一つとして今後の検討課題となるであろう。

小 括

チモシー・シロクローバ混播草地において年間2回刈り（採草利用）、4回刈り（兼用利用）、6回刈り（多回刈り）の3つの異なる頻度の刈取りを実施した。その結果、本章第1節で見た単播で他草種を除草した条件とは対照的に、シロクローバとの混播条件下では、利用（刈取り）頻度が高まるほどチモシーの収量と被度は経時的に減少した。このことから、草地におけるチモシー密度の減少は、刈取りやその頻度の直接的な影響というよりも、他草種が隣接して生育した場合に生じる種間競争の影響がより重要な要因であると考えられた。

表Ⅳ-2-2. チモシー品種とシロクローバ中葉型品種との混播栽培の適否.

利用頻度	チモシー 品種	シロクローバ 中葉型品種との 混播の適否
採草 (年間2回刈り)	ノサップ	○
	キリタップ	○
	ホクシュウ	○
兼用 (年間4回刈り)	ノサップ	△
	キリタップ	○
	ホクシュウ	○
多回刈り (年間6回刈り)	キリタップ	×
	ホクシュウ	×

○:適, △:やや適, ×:不適.

第2項. 多回刈り条件下におけるシロクローバに対する競争力のイネ科草種間差異と関連形質

第1項において、シロクローバ混播条件下では、多回刈りのように利用頻度が高くなるほど、チモシーは草種間競争において不利となり、被度が低下しやすいことを明らかにした。そこでここでは、イネ科基幹草種としてチモシーとメドウフェスクを用いて、シロクローバ混播・多回刈りの条件下において、各イネ科草種の乾物収量や草種構成の季節的推移を追跡調査し、シロクローバに対する競争力の草種間差異を検討した。さらに、そのような草種間差異をもたらす機構について、単播条件における草種固有の形態的、生理的形質に基づいて考察した。

材料と方法

本実験は、根釧農業試験場圃場（北海道標津郡中標津町）において実施した。

1. 混播試験

チモシー「ホクシュウ」とメドウフェスク「トモサカエ」を供試し、シロクローバ「ラモーナ」を混播した。播種期は1997年6月4日、播種法は散播とした。播種年は掃除刈りを2回実施した。播種翌年から3年間、年間6回の刈取りを行った（表Ⅳ-2-3）。

調査項目は、乾物収量 (kg/a)、乾物重増加速度 (Crop Growth Rate (以下 CGR), g/m²/日)、草種構成 (%)

FM), 草丈 (cm), 冠部被度 (%) とした。

2. 単播試験

チモシー「ホクシュウ」とメドウフェスク「トモサカエ」を供試した。播種期は1997年8月20日、播種法は畦間30cmの条播とした。播種年は刈取りを実施せず、播種翌年から3年間、年間5-6回の刈取りを行った(表IV-2-3)。試験期間中、試験区内に出現した雑草は適宜除草した。

調査項目は、乾物収量 (kg/a), 草丈 (cm), 総分げつ数に対する節間伸長茎数の割合 (以下節間伸長茎率, %), 1 m²当たり分げつ数 (本), 平均1茎重 (mgDM)

のほか、畦幅 (cm), 草丈伸長速度 (cm/日), CGR (g/m²/日) とした。また、分げつの地際より3cmまでの茎・葉基部 (以下基底部) の乾物重 (gDM/m²), 非構造的炭水化物 (TNC) 含有率 (%DM) および窒素含有率 (%DM) を測定した。

なお両試験とも、刈取りは、最終番草を除いてイネ科の草丈が30-40cmに達したことを目安に実施した。データは各試験区の平均値を示したが、TNC および窒素の含有率は全試験区の試料を混合した試料を分析に供した。

表IV-2-3. 刈取月日¹⁾。

番草	チモシー「ホクシュウ」区			メドウフェスク「トモサカエ」区		
	2年目	3年目	4年目	2年目	3年目	4年目
— 混播区 —						
1	5/28	6/2	5/29	5/28	6/2	5/29
2	6/17	6/18	6/13	6/23	6/21	6/13
3	7/17	7/21	7/5	7/21	7/21	7/5
4	8/7	8/12	7/31	8/12	8/12	7/31
5	9/1	9/9	8/30	9/7	9/9	8/30
6	10/6	10/19	10/12	10/13	10/19	10/12
— 単播区 —						
1	5/18	5/31	5/30	5/18	5/31	5/30
2	6/8	6/14	6/15	6/8	6/14	6/15
3	7/6	7/21	7/3	7/6	7/26	7/3
4	7/29	8/25	7/26	7/29	8/25	7/26
5	8/26	9/17	8/28	8/26	9/17	8/28
6	10/6	—	10/12	10/6	—	10/12

¹⁾月/日。2年目:1998年, 3年目:1999年, 4年目:2000年。

結 果

1. 混播区と単播区における乾物生産力

(1) 乾物収量

図IV-2-5に乾物収量を示した。混播区の乾物収量は、2, 3年目の1番草において、チモシー区がメドウフェスク区より有意に高かった。しかしそのほか、4年目の2, 3番草を除いてメドウフェスク区がチモシー区より高い傾向を示した。

単播区の乾物収量は、2年目は2番草を除いてメドウフェスクがチモシーと同程度かやや高く、3年目は5番草を除いてチモシーがメドウフェスクと同程度かやや高かった。一方4年目は番草ごとに草種間の順位が異なった。有意な草種間差は一部の番草で認められ、3, 4年目は1番草において、チモシーがメドウフェスクよりも有意に多収であった。

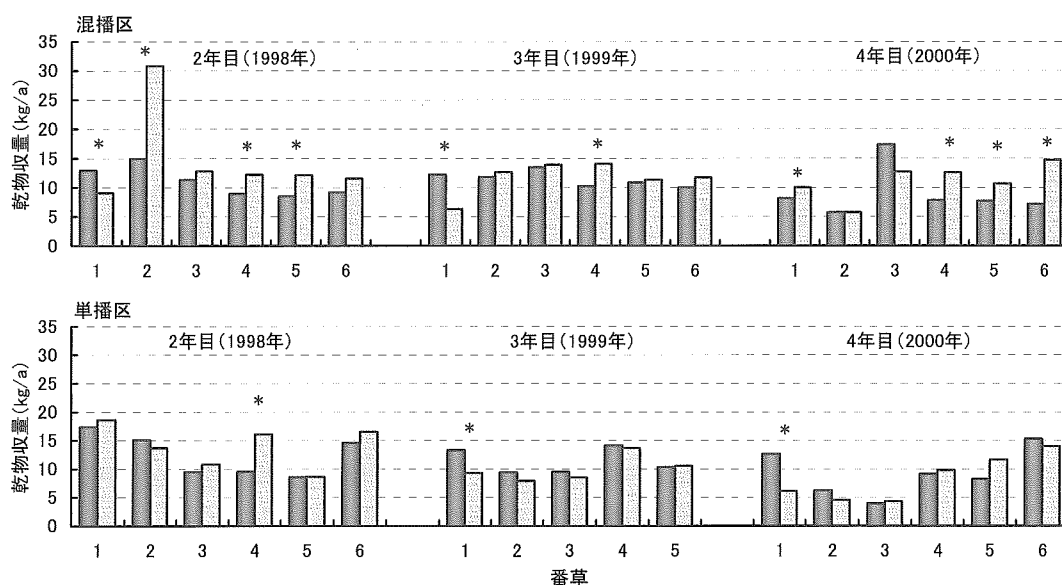
表IV-2-4に年間合計乾物収量を示した。混播区におけるイネ科収量、およびイネ科とシロクロバとの合計収量は、2, 4年目においてチモシー区がメドウフェスク区と比べ有意に低収であった。また、単播区の収量に対する混播区のイネ科収量の比率 (以下イネ科収量比率) は、年次にかかわらずチモシー区がメドウフェスク区よりも低かった。

(2) CGR の季節的推移

図IV-2-6に混播区と単播区のCGRの季節的推移を示した。チモシーのCGRは、4年目の6月を除いて混播区が単播区よりも低く推移し、とくに3, 4年目は7月以降は混播区が大きく低下した。これに対して、メドウフェスクのCGRは、チモシー区と同様に3年目において混播区が単播区よりも低く推移したが、単播区に対する混播区のCGRの比率は、8月以降はチモシー区よりも高かった。このような草種間差異は4年目

も3年目とほぼ同様であった。一方シロクローバのCGRは3年目において、両草種区とも7月にはイネ科CGRを上回り、チモシー区では8月以降もイネ科CGRより高く推移した。チモシー区におけるシロクローバの

CGRは、4年目もまた7月以降はイネ科のCGRより高く推移した。



■チモシー「ホクシュウ」区 ロメドウフェスク「トモサカエ」区

図IV-2-5. 多回刈り条件下における乾物収量.

単播区はイネ科牧草のみ、混播区はイネ科牧草とシロクローバとの合計。*は5%水準で有意。

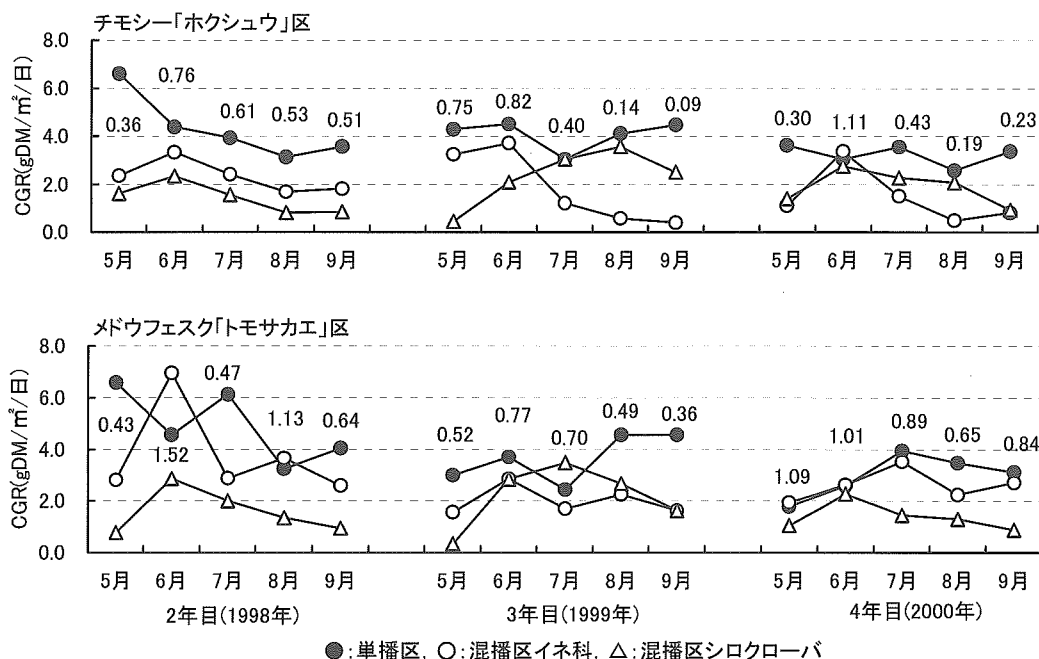
表IV-2-4. 混播区および単播区における年間合計乾物収量¹の草種間差.

草種「品種」	混播区								
	イネ科			シロクローバ			イネ科+シロクローバ		
	2年目	3年目	4年目	2年目	3年目	4年目	2年目	3年目	4年目
チモシー「ホクシュウ」区	40.8	28.6	23.5	24.9	39.7	30.4	65.7	68.3	53.9
メドウフェスク「トモサカエ」区	62.6	33.0	43.6	25.9	36.8	22.6	88.4	69.9	66.2
有意性 ³	*	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	*
草種「品種」	単播区			イネ科収量比率 ²					
	2年目	3年目	4年目	2年目	3年目	4年目			
	2年目	3年目	4年目	2年目	3年目	4年目			
チモシー「ホクシュウ」区	74.5	56.6	55.3	0.55	0.51	0.42			
メドウフェスク「トモサカエ」区	84.4	49.9	50.2	0.74	0.66	0.87			
有意性 ³	NS	NS	NS	—	—	—			

¹単位はkg/a.

²イネ科収量比率は単播区の収量に対する混播区イネ科収量の比率.

³*は5%水準で有意 (t検定).



図IV-2-6. 混播区および単播区における月別にみた各草種の乾物重増加速度 (CGR).
 図中の数値は比率 (混播区イネ科 CGR / 単播区 CGR) を示す.

2. 混播区における草種構成, 草丈および冠部被度

図IV-2-7 に混播区における草種構成を生草重構成割合で示した。3 年目のシロクロバの構成割合はチモシー区, メドウフェスク区とも春期を除いて2 年目より高く, 3 番草以降はいずれもイネ科の構成割合を越えて推移した。チモシー区におけるシロクロバの構成割合は, 3 年目の4 番草以降はメドウフェスク区よりも著しく高く推移した。

さらに4 年目には, チモシー区ではシロクロバが常にイネ科割合を越えて推移したのに対して, メドウフェスク区では番草によって異なったものの4 番草以降のシロクロバの構成割合は 40% 前後で比較的低く推移した。雑草率はチモシー区において, 4 年目の4 番草以降ケンタッキーブルーグラス等の増加により高まったが, メドウフェウス区ではそれより著しく低く推移した。

図IV-2-8 に混播区の草丈を示した。草丈はチモシー区, メドウフェスク区ともイネ科がシロクロバより高く推移した。

図IV-2-9 に冠部被度 (以下被度) を示した。2 年目のチモシーの被度は, 3 番草の再生時において, またメドウフェスクでは越冬直後と2, 3 番草においてやや低下した。3 年目のチモシーの被度は春から緩やかに低下し, 3 番草以降はその低下が顕著であったのに

対して, メドウフェスクでは, 4 番草以降越冬前まで40-50%程度でチモシーより高く推移した。さらに, 4 年目は, 両草種とも3 年目の秋期の状態がほぼ継続して認められた。

3. 単播区における刈取時の生育段階, 分けつ数, 平均1 茎重および基底部の諸形質

地上部の生育段階をみるため, 図IV-2-10 に節間伸長茎率を示した。節間伸長茎率は, チモシーでは, 2, 3 番草で高く, メドウフェスクでは, 1, 2 番草で高かった。節間伸長茎率がもっとも高かったのはチモシーが3 番草, メドウフェスクは2 番草であった。

図IV-2-11 に刈取時の1 m²当たり分けつ数を示した。チモシーとメドウフェスクの総分けつ数は, ほぼ同様の季節的推移を示し, 3 番草では2,000 本程度と少なく, 4 番草では年次, 草種によってやや異なった。一方, 栄養生長茎数は, チモシーでは1 番草から減少し, 3 番草で1,000 本前後に達した。これに対してメドウフェスクは, 3 番草においても2,000 本程度が認められ, 番草間の変動はチモシーよりも小さかった。栄養生長茎数は, 両草種とも3 番草刈取後, 4 番草にかけて増加した。なお, 両草種ともに4 年目までに欠株の発生は認められず, 1 m²当たりの総分けつ数も刈取時には2,000 本前後を下回ることはなかった。

図IV-2-12 に刈取時の平均1 茎重を示した。総分

げつの平均1茎重は、チモシーでは番草間で大きく変動したが、メドウフェスクではその変動は小さかった。また、1-3番草ではチモシーがメドウフェスクを上回り、4番草では同程度か下回った。そのほかは年次によって異なった。一方、3番草の刈取時に生存した分けつのうち、刈取後、4番草の再生に貢献することができる分けつは、主として栄養生長茎である。チモシーの栄養生長茎の平均1茎重は、1番草においてメドウフェスクより大きい、3番草ではメドウフェスクよりも小さく、4番草でも同程度か小さかった。

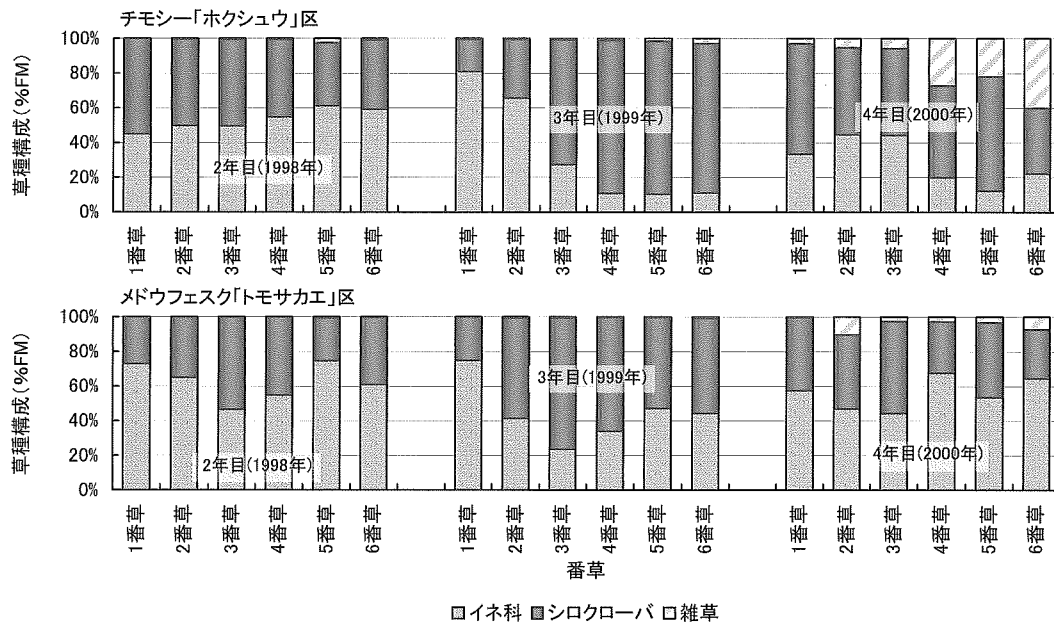
図IV-2-13に基底部の乾物重(以下刈株重)、TNC含有率、窒素含有率を示した。

刈株重は、節間伸長茎率が高い時期に高く、その後

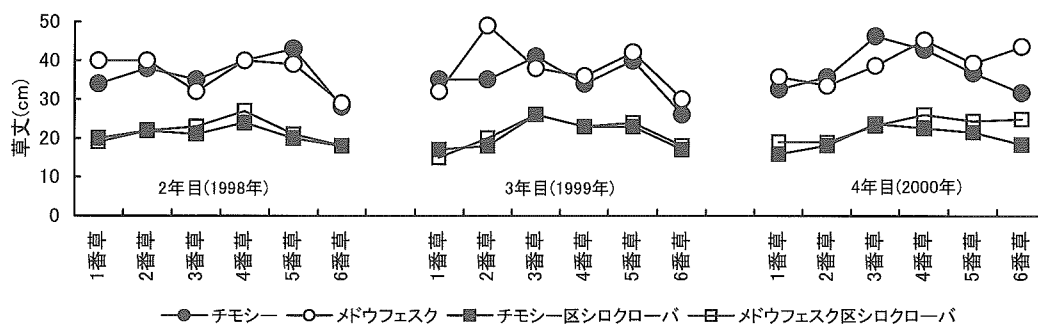
の時期、すなわちチモシーでは4番草、メドウフェスクでは3番草の刈取時に低かった。また、刈株重は1-3番草においてチモシーがメドウフェスクを上回ったが、4番草では両者の関係が逆転した。

TNC含有率は、チモシーが3番草で高く、メドウフェスクは4番草で比較的高かった。越冬前にはチモシーがメドウフェスクより高かった。

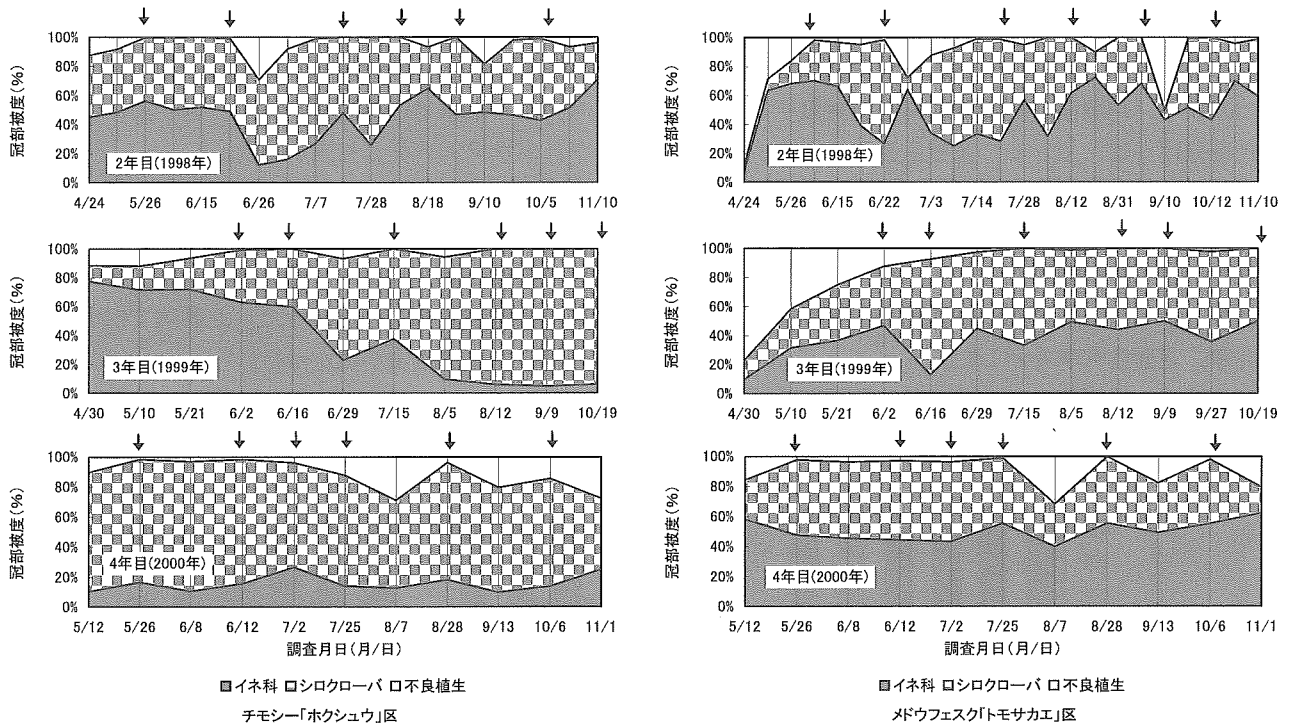
窒素含有率は、チモシーが2, 3番草で低く、4, 5番草で高まり、メドウフェスクでは2番草で低く、3-5番草で高まった。つまり、窒素含有率は、節間伸長最盛期には他の番草より低かった。3番草ではチモシーがメドウフェスクより低かった。



図IV-2-7. 混播区における草種構成の推移.

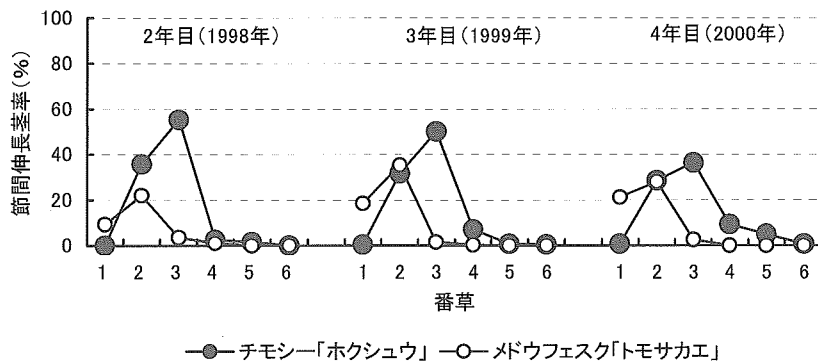


図IV-2-8. 混播区におけるチモシー、メドウフェスクおよびシロクローバの刈取時の草丈.



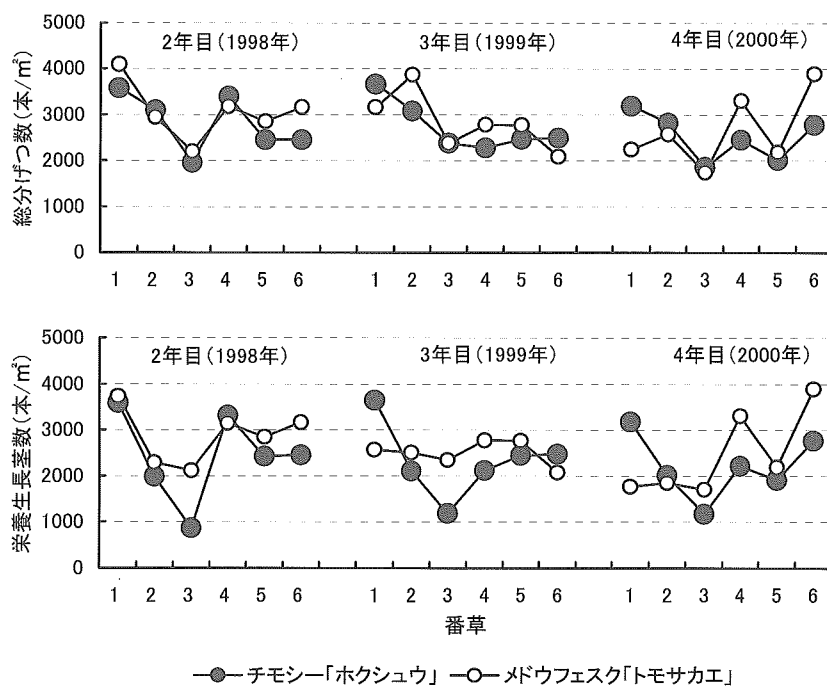
図IV-2-9. 混播区における冠部被度の推移.

不良植生は枯死茎葉、雑草および裸地の合計. ↓は刈取り直前の値.

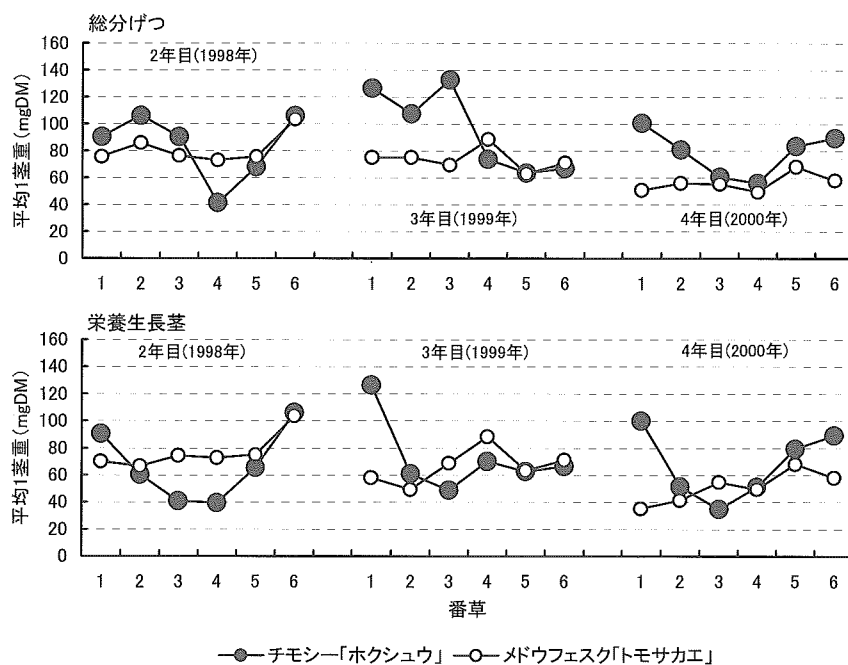


図IV-2-10. チモシーおよびメドウフェスクにおける節間伸長率.

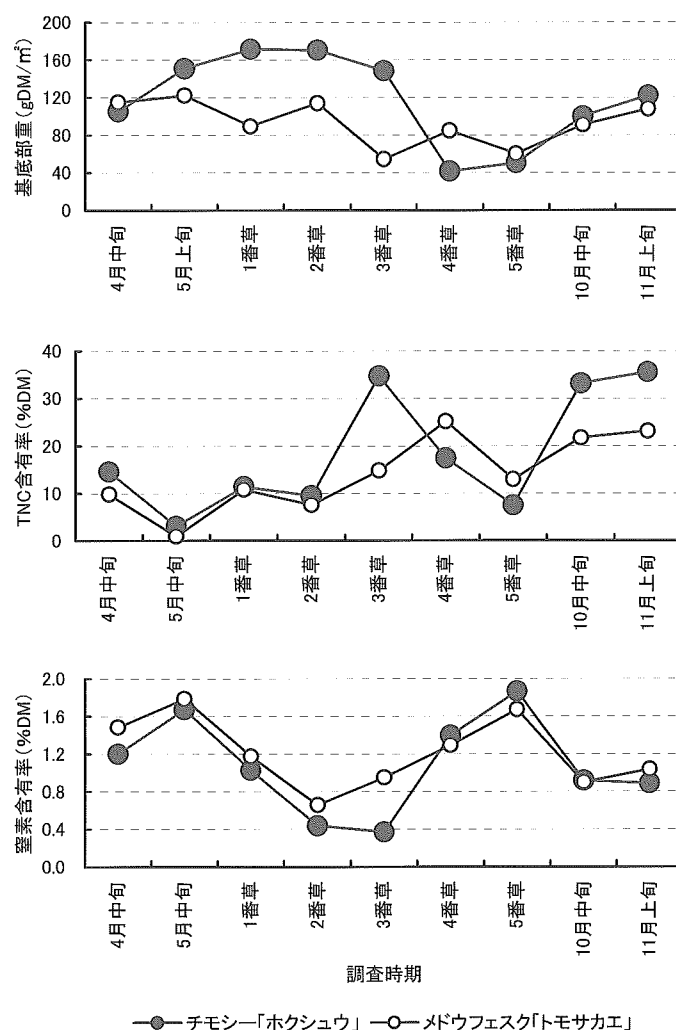
3年目6番草は無刈取り(調査月日:10月18日).



図IV-2-11. チモシーおよびメドウフェスクにおける総分げつ数と栄養生長茎数.
3年目6番草は無刈取り（調査月日：10月18日）.



図IV-2-12. チモシーおよびメドウフェスクの各番草の総分げつおよび栄養生長茎の平均1茎重.
3年目6番草は無刈取り（調査月日：10月18日）.



図IV-2-13. チモシーとメドウフェスクの分けつ基底部の乾物重, 非構造的炭水化物 (TNC) 含有率および窒素含有率の季節的推移 (播種後3年目 (1999年)) .

基底部は分けつ基部より高さ3cmまでの部位. 調査対象は茎葉を再生していた生存茎. 1-5番草は刈取期の値.

考 察

1. シロクロバ混播・多回刈り条件下における競争力のイネ科草種間差異

本項では, 多回刈り条件下において, シロクロバ混播ならびに単播によるチモシーとメドウフェスクの乾物収量, 草種構成および被度の季節的推移を比較した. その結果, シロクロバを混播すると, チモシーの収量は, メドウフェスクと比べ, その低下の程度が大きかった (表IV-2-4). 混播条件下のチモシー区は, 3年目の7月以降にイネ科のCGRが激減したが (図IV-2-6), この季節的推移は4年目においてもほぼ

同様に認められた. すなわち, 混播条件下におけるイネ科の年間合計乾物収量の草種間差異 (表IV-2-4) は, イネ科CGRの季節的推移の差異に起因していた. 一方, 混播の影響は草丈ではなく, 被度に対して大きく作用した (図IV-2-8, IV-2-9). このことから, 混播条件下のチモシー区において, 3年目の7月以降イネ科CGRが激減したことは, チモシー区におけるイネ科被度の減少とシロクロバの占有面積拡大の程度が, メドウフェスク区よりも大きかったことによると考えられた.

これに対して, 単播条件では4年目秋期まで欠株の発生は認められず, チモシーの分けつ数やCGRの著し

い低下は認められなかった(図IV-2-6, IV-2-11)。むしろ3年目の単播では、チモシーの乾物収量は、メドウフェスクと同程度かやや上回る傾向にあった(図IV-2-5)。これまでの早刈りや多回刈りの研究においても、単播条件では、チモシーは分けつ数の経時的な減少がほとんど認められず、マメ科牧草と混播した場合に分けつ数の顕著な減少が認められている[74, 127]。また、刈取り頻度が高いほど、茎数密度は高く維持されることも報告されている[56, 82]。これらのことから、混播条件下の生育におけるチモシーとメドウフェスクの草種間差異は、主としてシロクローバに対する競争力[61, 164]の違いを反映したと考えられた。すなわち、多回刈り条件下においてシロクローバ中葉型品種と混播した場合、チモシーはメドウフェスクと比較して、シロクローバに対する競争力に劣り、そのために被度が低下しやすい。その結果、チモシーの茎葉の乾物収量は、メドウフェスクよりも劣ったと考えられた。

一方、本実験において、雑草発生程度の草種間差をみると、混播条件のチモシー区では、4年目にケンタッキーブルーグラスを主体とする雑草の割合がメドウフェスク区に比較して高まった(図IV-2-7)。チモシー草地は利用回数を増すほどケンタッキーブルーグラスが優占する傾向がある[124, 129]。これに対して、メドウフェスクは、草高 25-30cm で放牧利用すると5年目までケンタッキーブルーグラスの侵入が少なく、ペレニアルライグラスと同様に安定利用が可能と報告されている[122]。したがって、本研究でもこれらの報告と同様に、雑草発生はチモシー草地がメドウフェスク草地よりも顕著であった。チモシーは裸地に侵入する雑草との競争による密度の減少についても注意する必要がある。

2. 競争力のイネ科草種間差異と関連形質

既に述べたように7月以降、混播条件下では、イネ科の構成割合や被度が低下しやすく、チモシーはメドウフェスクよりその傾向が強かった。刈取後の再生には刈株(基底部)の諸形質が関与していることが予測される。そこでまず、7月以降に生育した4番草の再生に影響を及ぼす3番草刈取時の基底部の諸形質[84]との関連性を検討し、次のような結果が認められた。すなわち、刈株重はチモシーの方がメドウフェスクに比べて高かった(図IV-2-13)。基底部のTNC含有率は、チモシーでは34.7%とメドウフェスクの14.8%より高かった(図IV-2-13)。チモシーは茎の基部節間が肥大して球茎となり[159]、初夏の開花期に最大

となる[189]。またTNC含有量は、生育段階の進行にもなって、栄養生長期から完熟期まで増加すること[113]から、この3番草の刈株重および基底部のTNC含有率の草種間差異は、チモシーの伸長茎における球茎の肥大と、貯蔵養分の蓄積によるものであったと考えられる。

これらの形質に対して、3番草刈取時の基底部の窒素含有率は、チモシーでは0.37%とメドウフェスクの0.95%より低く、異なる草種間差異を示した(図IV-2-13)。既往の報告においても、チモシーを含むいくつかのイネ科草種では、生育段階別再生量は刈取時の株の窒素含有率とよく一致し、刈取時に窒素含有率が高い若い分けつの割合が高いと、再生量が高いと考えられている[113]。このことから、3番草刈取時の窒素含有率は、刈取時の栄養茎の数およびその重量の違いから派生的に生じた結果と推察される。

このように基底部の諸形質は、刈取時の生育段階と関連が深い。そこで刈取時の生育段階、分けつ数および1茎重との関連性について検討した。その結果、チモシーは3番草刈取時の節間伸長率率が、36-55%とメドウフェスクよりも高い値を示したことから(図IV-2-10)、チモシーでは7月の刈取りによって既存分けつのうち半数程度が茎頂を失い、新葉の再生が不可能になったと考えられる。そのため、チモシーの4番草の再生は、3番草刈取後、新たに伸長する分けつ[47]に依存する程度が、メドウフェスクよりも高かったと考えられる[172]。新分けつは古い分けつの地際の腋芽の生長に由来し、しかも再生初期は母茎に栄養的に依存するため、再生に時間を要する。加えてチモシーはメドウフェスクと比べ、3番草刈取時の栄養茎数が少なく、栄養茎の平均1茎重も小さかった(図IV-2-11, IV-2-12)。このような同じ時期における草種間の形態的、生理的特性の差異のために、チモシーは刈取直後の再生力が劣り、シロクローバに対する競争力がメドウフェスクよりも劣る結果を招いたと推察される。そのため、チモシー区では、混播条件下では分けつ数が十分に確保されず、被度が激減したと推察される。したがって、とくにチモシーでは、当該時期における分けつ数確保の如何が、その後の生産性を決定する要因の一つとして重要と推察される。なお、単播条件における畦幅(株の広がり)、各番草生育期間中の草丈伸長速度およびCGRと、競争力の草種間差異との関連性は不明確であった[13](結果は示していない)。

以上のことから、とくにチモシー区において3年目の7月以降、シロクローバが優占し、チモシーの構成

割合や被度が低下した現象は、基底部のTNCや窒素の含有率の影響よりも、当該時期における節間伸長茎率、刈取後に再生可能な分げつの数、大きさなど、分げつ発生の態勢が、草種間で異なっていたことの影響が大きかったと推察される。

小 括

シロクローバ混播，年間5-6回の多回刈り処理を行う条件で，チモシーおよびメドウフェスクの乾物収量，草種構成割合および被度の季節的推移を調査した。また，その草種間差異と単播条件下における草種の刈取り時の生育段階，分げつ数，平均1茎重，畦幅（株の広がり），草丈伸長速度，乾物重増加速度（CGR），および基底部の乾物重（刈株重），非構造化炭水化合物（TNC）および窒素の含有率の推移との関連性を検討した。

なお，用いた品種はチモシー「ホクシュウ」，メドウフェスク「トモサカエ」，シロクローバ「ラモーナ」であった。また単播区では手取り除草を実施した。

その結果，単播条件では4年目まで欠株は発生せず，刈取時の1㎡当たりの総分げつ数も2,000本前後を下回ることはなかった。一方混播条件では，単播条件に比較して，メドウフェスク区よりもチモシー区において，チモシーの乾物収量の減少割合が大きく，とくに3年目の7月（本研究では4番草）以降，その傾向が顕著になった。このことは，混播条件では，チモシーおよびメドウフェスクの草丈のような上方向への伸長生長よりも，被度が著しく低下したことに起因していた。この被度低下の草種間差異は，刈取りの影響によるよりも，主としてシロクローバに対する競争力の草種間差異を反映したものと考えられた。

シロクローバ混播条件下におけるチモシーおよびメドウフェスクの乾物収量および構成割合の季節的推移にみられた草種間差異は，株の広がり，草丈伸長速度，CGR，刈株重，TNCならびに窒素の含有率や含有量よりも，分げつの再生の態勢の草種間差異との関連性が高いことが示唆された。すなわち，4番草（7-8月に生育した）の再生に影響を及ぼしたと思われる3番草（6-7月に生育した）の刈取り時の節間伸長茎率は，チモシーの方がメドウフェスクよりも高い値を示す一方，刈取後，再生可能な栄養生長茎の数はチモシーの方が少なく，その1茎重もメドウフェスクに比較して小さいことから，刈取後は再生力が劣り，シロクローバに対する競争力が劣ったと考えられた。このことから，当該時期における分げつ数確保の成否が，その後の生産

量を決定する要因の一つとして重要であることが示唆された。

第3項 混播相手マメ科草種の違いがチモシーの収量および被度に及ぼす影響

混播するマメ科牧草の草種が異なれば，チモシーの生育に及ぼす草種間競争の影響は異なると考えられる。ここでは，アカクローバ，シロクローバおよびガレガを取り上げ，これら異なるマメ科牧草の混播が採草利用の条件下におけるチモシーの収量および被度に及ぼす影響について検討する。

材料と方法

本実験は北見農業試験場圃場（北海道常呂郡訓子府町）において試験区を造成して実施した。

1. 混播試験

チモシーは晩生品種「ホクシュウ」を供試し，マメ科牧草の草種と品種は，アカクローバ（RC）「クラノ」，シロクローバ（WC）「ソーニャ」，ガレガ（GL）「こまさと184」を混播した。以下，マメ科牧草各草種との混播処理区をそれぞれRC区，WC区，GL区と表記する。播種は2001年5月22日に散播で行った。年間刈取回数は2回とし，2年目以降は1番草はチモシー「ホクシュウ」の出穂始期，2番草は1番草刈取後60日程度経過した後に行った。刈取月日は，播種年（1年目）が8月6日と9月10日，播種後2年目は7月8日と9月11日，播種後3年目は7月1日と9月11日であった。

収量および生育の調査は，播種年（2001年）から播種後3年目（2003年）にかけて行った。調査項目は，草種別の乾物収量（kg/a），草丈（cm），冠部被度（%）およびチモシーの分げつ密度（極少を1，極多を9とする9段階の評点法）とした。乾物収量の調査は1㎡のコドラートを使用した坪刈り法により行った。

2. チモシーの単播試験

混播試験と隣接した圃場において，チモシー「ホクシュウ」を単播で栽培した。播種は2001年5月22日に条播で行った。試験区は反復数4，1試験区面積は3.0㎡（畦間0.3m×畦長2.5m，1区4畦）とした。刈取月日は，播種年（1年目）が8月2日と9月5日，播種後2年目は7月1日と9月11日，播種後3年目は7月1日と9月11日であった。

収量および生育の調査は，播種年（2001年）から播

種後3年目（2003年）にかけて行った。調査項目は、乾物収量（kg/a）および草丈（cm）とした。

結 果

1. 各年次における年間合計乾物収量

表IV-2-5にチモシー「ホクシュウ」とマメ科牧草各草種との混播草地における年次別の年間合計乾物収量（以下収量）を示した。

播種年（1年目）は、チモシー収量はGL区がRC区、WC区より有意に少なく、マメ科収量は草種間に有意差は認められなかったもののGL区で多い傾向にあった。牧草合計（チモシー+マメ科牧草）収量は有意差が認められなかった。

2年目は、チモシー収量はGL区>WC区>RC区の順に多く、有意差が認められた。マメ科収量は、反対にGL区が最も少なく、WC区、RC区の順に多くなった。1年目と同様に牧草合計収量に有意差は認められなかった。

3年目は、チモシー収量には有意差が認められな

ったが、マメ科収量は有意差が認められ、RC区>WC区>GL区の順に多かった。3年目の牧草合計収量は、マメ科収量の差を反映し、RC区が最も多く、次いでWC区、GL区の順に多く、有意差が認められた。

1-3年目合計、2,3年目合計とも、チモシー収量はGL区>WC区>RC区、マメ科収量はRC区>WC区>GL区の順に多かった。また、RC区のマメ科収量は、2年目ならびに2,3年目合計においてチモシー収量を上回ったが、WC区とGL区ではいずれの年次ともチモシー収量がマメ科収量より多かった。

収量を年次間で比較すると、GL区のGLを除けば、チモシー収量、マメ科収量、牧草合計収量とも、2年目が最も多収で生産性が高かった。

表IV-2-6にチモシーの収量に及ぼすマメ科牧草混播の影響を示した。RC混播ではWC混播、GL混播と比べ、単播区に対する混播区のチモシーの収量の比率は2年目以降は低く推移した。また同比率は、1-3年目合計、2,3年目合計とも、GL区>WC区>RC区の順に高かった。

表IV-2-5. チモシー・マメ科牧草混播草地における年間合計乾物収量（kg/a）.

混播相手 マメ科牧草	播種1年目合計			播種後2年目合計			播種後3年目合計		
	チモシー	マメ科 牧草	牧草 合計	チモシー	マメ科 牧草	牧草 合計	チモシー	マメ科 牧草	牧草 合計
アカクローバ	20.9	9.0	29.8	62.9	75.8	138.8	48.5	39.6	88.0
シロクローバ	22.8	5.4	28.2	90.7	31.7	122.4	51.1	20.5	71.5
ガレガ	16.6	10.5	27.1	132.7	1.7	134.4	51.5	8.7	60.2
LSD(5%)	3.46	NS	NS	31.02	28.85	NS	NS	14.17	10.06
混播相手 マメ科牧草	1-3年目合計			2,3年目合計					
	チモシー	マメ科 牧草	牧草 合計	チモシー	マメ科 牧草	牧草 合計			
アカクローバ	132.2	124.3	256.6	111.4	115.4	226.8			
シロクローバ	164.5	57.5	222.0	141.7	52.1	193.9			
ガレガ	200.8	20.8	221.7	184.2	10.3	194.6			
LSD(5%)	32.01	43.49	30.58	32.42	41.33	NS			

チモシーは「ホクシュウ」。分散分析で有意差が認められた場合にLSD(5%)の値を示した。

表IV-2-6. チモシーの乾物収量の単播区に対する混播区の比率.

草地 ¹	播種 1年目	播種後 2年目	播種後 3年目	1-3年目 合計	2,3年目 合計
単播区	29.1	138.9	87.9	255.9	226.8
アカクローバ混播区	72	45	55	52	49
シロクローバ混播区	78	65	58	64	62
ガレガ混播区	57	96	59	78	81

¹単播区は実数(kg/a), 混播区は単播区を100とする指数(%).

2. 冠部被度の推移

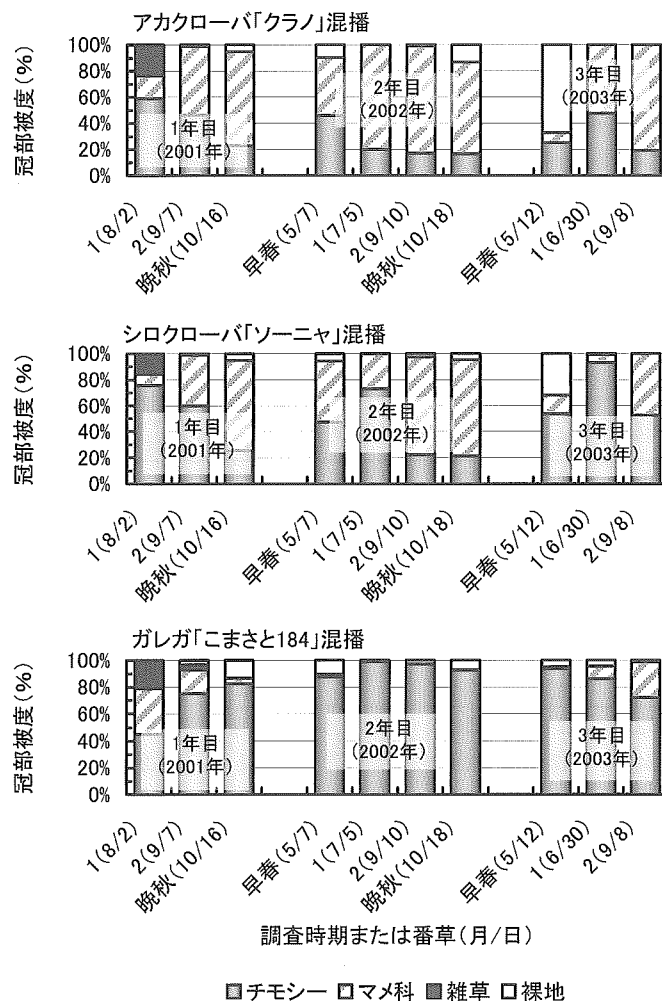
図IV-2-14に冠部被度（以下被度）を示した。RC区の子モシー被度は、1年目は10月にかけて23%まで低下し、1年目の2番草以降は3年目にかけて、いずれも50%を下回って推移した。一方RCの被度は、1年目は10月にかけて72%まで増加し、2年目以降は5月上中旬に子モシーを下回ったことを除いて、3年目まで子モシーより高い被度で推移した。

WC区の子モシー被度は、RC区と同様に1年目は10月にかけて26%まで低下し、2年目は1番刈期において73%と高かったが2番草では22%まで低下した。しかし、3年目には早春、1番刈時、2番刈時ともWCより

高い被度で推移した。

GL区の子モシー被度は、RC区、WC区とは異なり、1年目1番草ではRC区、WC区より低かったが、2番草以降は10月にかけて増加し、2年目以降は3年目にかけて高い被度で推移した。GLの被度は1年目1番刈後は徐々に低下し、以後3年目まで子モシーより明らかに低く推移した。

なお、雑草の被度は、マメ科の草種にかかわらず、播種年1番草で20%前後認められたことを除いていずれも低く推移した。裸地の被度は3年目5月において、とくにRC区で目立ったが、1番刈時には極めて少なくなった。



図IV-2-14. 子モシー・マメ科各草種混播草地における冠部被度の推移。

播種期：2001年5月22日。子モシー品種：「ホクシュウ」。

3. チモシーの分けつ密度の推移

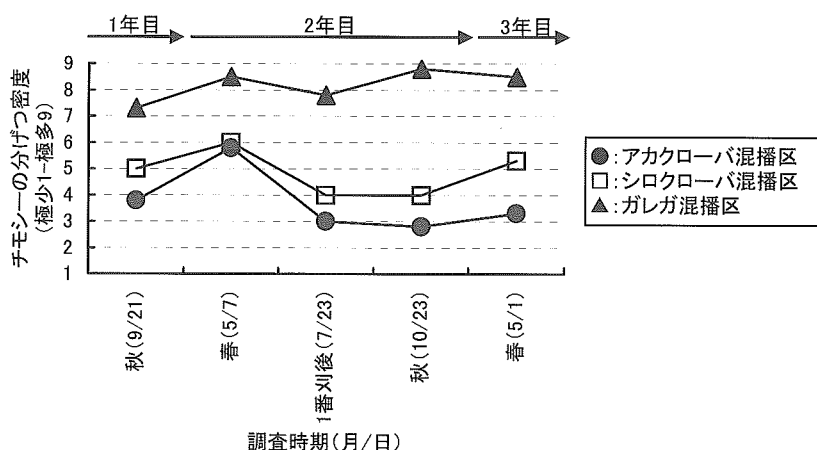
図IV-2-15に1年目9月以降3年目5月にかけて調査したチモシーの分けつ密度の推移を示した。チモシーの分けつ密度は、混播相手マメ科草種によって明らかに差異が認められ、GL区が最も高く、次いで、WC区、RC区の順であり、マメ科牧草の被度が高かったRC区(図IV-2-14)において、最も低下して推移した。

4. チモシーとマメ科牧草の草丈の比較

図IV-2-16に各番草刈取期における各草種の草丈を示した。RCの草丈は、2年目以降は1, 2番草ともWCより高かった。チモシーと各マメ科草種の草丈を比較すると、チモシーに対するRCの草丈比は0.78-0.88

と、チモシーの草丈に近かった。一方WCは、草丈比が1番草では0.48-0.49, 2番草では0.60-0.61であった。また、GLは、草丈比が1年目は0.72-0.80とRCおよびWCより高かったが、2年目ではWCと同程度を示し、3年目はWCより高くなった。なお3年目のGLにおける草丈比の増加は、チモシーの草丈がRC区、WC区と比べ低かったことが一因であった。

表IV-2-7にチモシーの草丈に及ぼすマメ科牧草混播の影響を示した。2年目以降、マメ科牧草の混播は必ずしも草丈を低下させるわけではなく、RC区、WC区ではとくに2番草の草丈は単播区よりも高くなった。



図IV-2-15. マメ科牧草混播条件下におけるチモシーの分けつ密度。
チモシーの分けつ密度は単位面積当たりの分けつ数の多少。

考 察

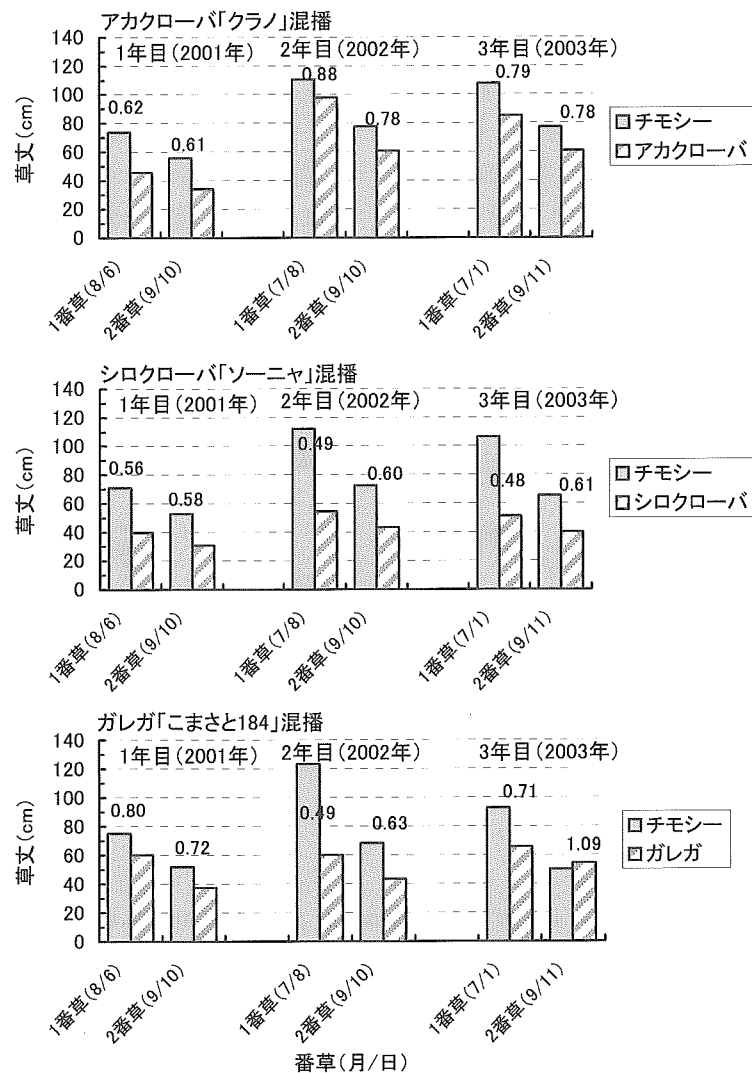
競争のなかで最も強く働く要素は光であるとされている[51, 170]。光競争では、植物が群落の中でどの高さの階層に位置するかということが、競争の勝敗、ひいてはその植物の生存に非常に大きな意味を持っている[61, 137]。一方、酒井(1973)[148]は、競争は植物の生育に影響するが、そのときに植物は草丈などの縦への生長よりも、分けつや全植物重などもつばら横への生長に競争の影響を強く受けるようであるとした。

本実験の結果、採草利用条件下において、チモシー晩生品種とRC「クラノ」を混播した草地では、RCの草丈はWC「ソーニャ」やGL「こまさ」と184」を混播した草地におけるWCやGLの草丈よりも高く、チ

モシーとの草丈の差が2, 3年目ともに小さかった(図IV-2-16)。2つの植物種が群落内でほぼ同じ高さを占めている場合には、水平葉型の植物の受光量が垂直葉型の植物よりも多くなり、光合成に有利となることが推測される[61, 76]。事実、チモシーの被度ならびに分けつ密度の低下は、RC混播草地において最も大きかったが(図IV-2-14, IV-2-15)、このことは水平葉型のRC「クラノ」は、その草丈が垂直葉型のチモシーと大差が無かったため(図IV-2-16)、既往の知見[61, 137]と同様に、光の奪い合いにおいて有利となり、その結果、チモシーの横への生長、つまり被度の低下(図IV-2-14, IV-2-15)をもたらしたことを示唆した[148]。これらのことから、RCをチモシー晩生品種「ホクシユウ」と混播すると、RCが優占種となり、チモシー

の密度を低下させる恐れがあると考えられた（表Ⅳ－2－5，図Ⅳ－2－14，Ⅳ－2－15）。木曾ら（1992）[73]はチモシー晩生品種と RC「サッポロ」との混播

では RC が優占することを示したが、「サッポロ」より草勢が穏やかな「クラノ」との混播でも同様であることが認められた。



図Ⅳ－2－16. チモシー・マメ科各草種混播草地における各番草のチモシーとマメ科牧草の草丈の比較.
図中の数値はチモシーの草丈に対するマメ科牧草の草丈の比.

表Ⅳ－2－7. 単播区のチモシーの草丈に対する混播区の比率.

草地 ¹	播種1年目		播種後2年目		播種後3年目	
	1番草	2番草	1番草	2番草	1番草	2番草
単播区	53	63	119	67	105	52
アカローバ混播区	140	89	93	116	103	148
シロクローバ混播区	134	84	94	109	102	127
ガレガ混播区	142	83	103	101	89	96

¹単播区は実数 (cm), 混播区は単播区を100とする指数 (%).

一方、WC「ソーニャ」と混播した場合には、とくに2年目の2番草においてWCの被度がチモシーを上回ったものの、WCの収量がチモシーを上回ることとはなく（表IV-2-5）、番草別収量についても同様であり（データ省略）、採草条件ではチモシー草地において優占種となる危険性は低いと思われた。WCは水平葉型植物であるが、各番草とも草丈がチモシーより低く（図IV-2-16）、そのためチモシーの被度の維持を著しく妨げることはなかったと推察された。チモシーの分けつ密度もWC混播草地ではRC混播草地と比べ高い傾向で推移した（図IV-2-15）。

他方、GL混播草地では、GLの被度は1年目1番草においてRCやWCより高かったものの（図IV-2-14）、1番草刈取り以降は3年目までチモシーより大幅に低い被度で推移し、RCやWCと比べても明らかに低く推移した（図IV-2-14）。また、チモシーの収量はGL区が最も多く（表IV-2-5）、チモシーの被度もRC区、WC区と比べてGL区が高く推移した（図IV-2-14、IV-2-15）。これらのことから、GLの混播がチモシーの生育を抑制し、密度を低下させる危険性は低いことが示唆された。GLは地下茎（根茎）で栄養繁殖でき、永続性が高く、チモシーの早生または中生品種との混播ではマメ科率が良好に推移する利点があることから[33, 58-60]、草地におけるチモシーの密度維持を図る観点から今後の普及拡大が期待される。GLは8月中旬以降に地下茎（根茎）を生長させ、それが翌春地上へ出芽し翌年の収量に寄与する地上茎（シュート、新たなラメット）となる[15, 58]。しかし本試験では1年目の1番草を8月6日、2番草を9月10日に刈取りしたが、光合成器官である茎葉を奪い、地下茎の発達を妨げたものと推察される。そのため、GLは生育空間を確保できず、チモシーの生育を抑制することがなかったと考えられた。

以上のように、混播相手のマメ科草種が異なれば、その生活型や刈取りに対する反応も異なり、結果的にチモシーの被度や生産性の低下に及ぼす影響が異なることから、チモシーとの混播栽培で組み合わせるマメ科牧草は、チモシーの品種特性を考慮し、適切な草種の選定が重要になると考えられた。

第Ⅲ章第1節において、単播・採草利用条件では、チモシーは欠株の発生や分けつ密度の明らかな低下は認められなかった。したがって、本実験で認められたチモシーの収量、被度および分けつ密度の低下も、マメ科牧草との競争の影響によるものと考えられた。

小 括

異なる種類のマメ科牧草の混播がチモシー晩生品種「ホクシュウ」の収量と被度に及ぼす影響を検討した。

採草利用条件下において、チモシー晩生品種とRC「クラノ」を混播すると、RCが優占し、チモシーの被度は低下する危険性が高いと考えられた。一方、WC「ソーニャ」との混播では、WCの収量がチモシーを上回ることとはなく、チモシーの被度もRC混播草地と比べ高い傾向で推移した。RCは草丈がチモシーに近く、チモシーに対して競争的な種、WCは草丈がチモシーより低く、採草条件ではチモシーと共存的な種とみなされた。一方GL「こまさ」との混播では、チモシーの被度はRC混播およびWC混播より高く維持された。しかしGLの被度は著しく低かった。

単播・採草利用条件（第Ⅲ章第1節）において、チモシーは欠株の発生や分けつ密度の明らかな低下が認められなかったこととは対照的に、マメ科牧草との混播条件では、チモシーの収量や被度は明らかに低下した。また、その低下の程度はマメ科牧草の草種によって異なった。このことから、チモシーの分けつ密度を低下させる要因として、草種間競争が重要であることが認められた。

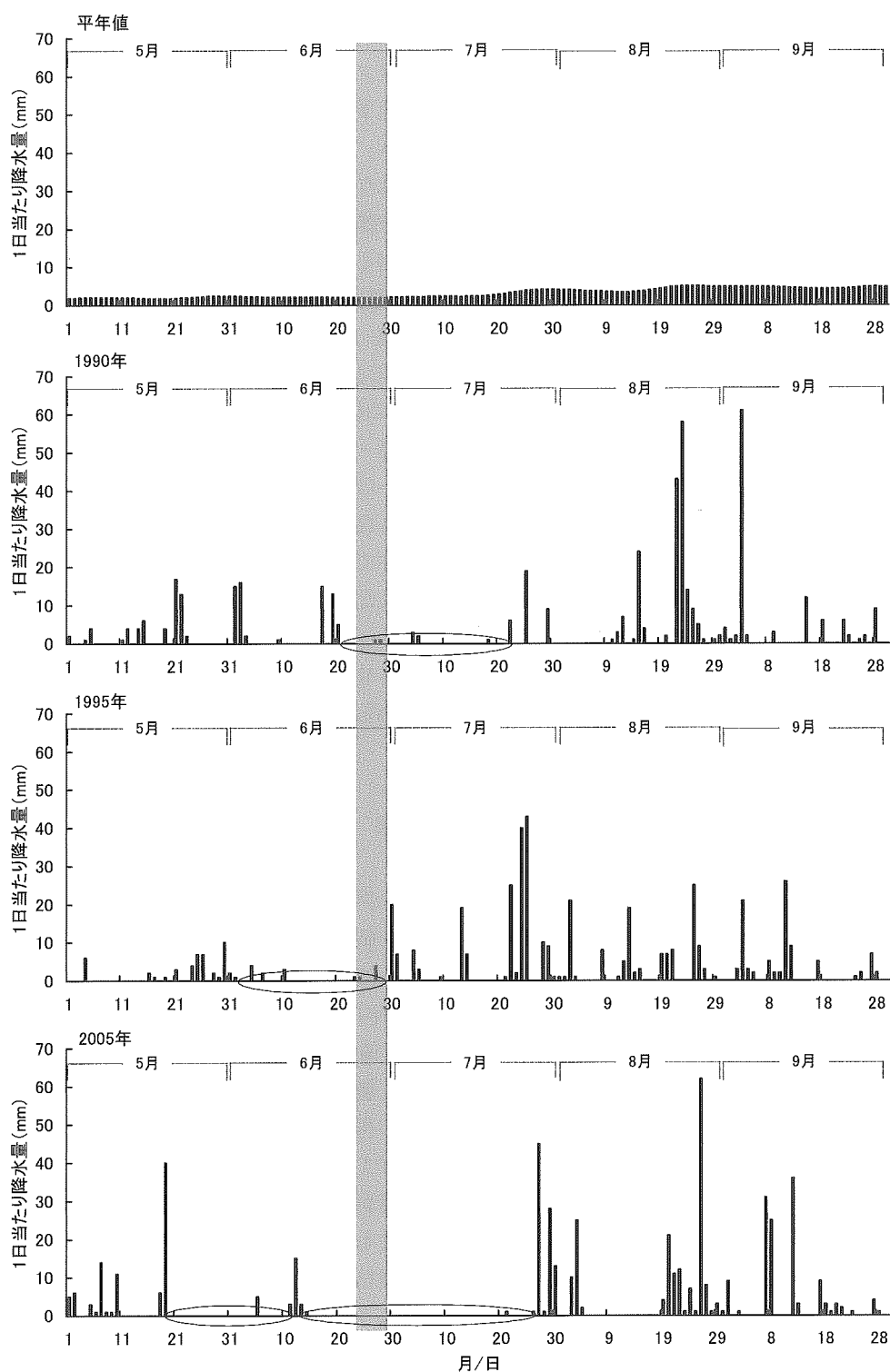
第3節 土壌水分条件

宝示戸ら（1981）[40]は、オーチャードグラス主体草地を供試し、6月下旬-7月中旬における平均降水量が2mm/日を下回るときは、牧草生産は低下するとした。2005年において、天北地方（浜頓別町）の降水量は、5月下旬から7月中旬まで、6月の一時期を除き著しく少なく経過した。とりわけ1番草の刈取り時期から刈取後の再生の時期に該当する6月15日以降7月20日にかけて無降雨の日が続いたことにより、2番草の生育停滞が顕著に認められた。北海道は、我が国のなかでは最も西ヨーロッパに近い気候のため、寒地型牧草でも夏枯れを起こすことはないとされているが[48]、このように地域的には降水不足が牧草生産の規制要因となることがある。ここでは土壌水分の不足がチモシーの分けつ密度に及ぼす影響について検討した。

第1項 干ばつ年の降水を模した灌水がチモシーの分けつ密度に及ぼす影響

ここでは、北海道北部に位置する天北地方の寡雨(干

ばつ) 年における降雨を人為的灌水により再現し、各 づ数の季節的推移に及ぼす影響を検討した。
降水パターンが、チモンシ一経年個体の生育段階別分け



図IV-3-1. 試験地(浜頓別町)における1990年、1995年および2005年における5-9月の1日当たり降水量。長方形の網掛けはチモンシ一中品種1番草の一般的な収穫時期を示す。楕円の囲みはとくに連続して降雨が少なかった時期(1日の積算降水量が5mm以下)を示す。

材料と方法

チモシー「キリタツプ」(早晩性：中生の晩)を播種(播種期：2004年6月29日、播種量：1.8kg/10a)して造成した播種後3年目の採草地において、2006年5月9日に草丈7-8cm程度で茎葉の総量に大差がないチモシー個体(分けつ数1-10本からなるジェネット[183])を採取し、任意の個体を1ポット(1/2,000a, 上川農試天北支場圃場の褐色森林土を充填)当たり3個体ずつ移植した。ポットは降雨が当たらないようにガラス室内に静置し、屋外との気温差を緩和するためガラス室側面の窓や扉は全て開放するとともに換気扇による換気を行った。刈取りは1番草が7月4日、2番草は9月12日に行った。刈取高さは地際より7cmとした。調査期間中に発生した雑草は適宜手取り除草を行った。

干ばつは、気象的には、我が国の場合、連続干天日数が20日以上続いた場合とされており、連続干天日数を算出するに当たっては、普通、日降水量5mm未満の日を含める[152]。本試験ではこの干ばつの定義[152]に従い、1990年以降の気象庁アメダスデータ(浜頓別)から、牧草の主な生育期間中に日降水量5mm未満の日が長期間連続した年次(1990年、1995年、2005年)を選定し、平年値(対照区)ならびにこれら各年次の降水パターンを模した灌水を人為的に行った。図IV-3-1に各年次の降水量の季節的推移を示した。

平年は、5月から7月中旬まで、降水量は1日当たり1.9-2.9mmで経過し、7月下旬以降はそれ以前と比べ日降水量がやや増加して9月まで推移する(図IV-3-1)。

1990年は、1番草では適度な降水が認められたが、1番草刈取りの前後から約1か月間(6月下旬-7月中旬)まとまった降水がなかった(図IV-3-1)。

1995年は、1番草の生育期間中(とくに6月の1か月間)の降水量がきわめて少なかったが、1番草刈取りの前後から(6月末以降)適度な降水に恵まれた(図IV-3-1)。

2005年は、1番草の生育期間から1番草刈取後の牧草が再生する時期にかけて、約2か月間(5月下旬-7月下旬)降水量が少ない時期が続いた(図IV-3-1)。とりわけ6月15日以降7月20日まで、無降雨の日が続いた。

各年次の降水を模した灌水の処理は、5月21日以降の日降水量について、5日間の降水量の積算値に相当する量の水道水を、概ね5日おき(積算した5日のう

ち最終日)に、2番草刈取期にかけて行った。なお、土壌の最大保水量を考慮して、1回当たりの灌水量は最大50mmとした。また次の灌水時に受け皿に残存していた水は灌水前に廃棄した。2番草刈取期以降は越冬前まで十分な灌水を行った。

ポットは越冬前に屋外に静置し、積雪下で越冬させ、翌年春の融雪後に再びガラス室内に移して、2番草刈取期までいずれも平年の降水量に相当する灌水を行い、前年の処理が生育に及ぼす影響を調査した。

なお、本文中における各処理区の表記は、それぞれ「平年型」、「1990年型」、「1995年型」、「2005年型」とした。

調査項目は、分けつ数(本/ポット)とした。分けつ数は、各処理区とも5ポット15個体を7-30日の間隔で経時的に立毛状態で調査し、ポットを反復としてTukey法(有意水準5%)により処理間差の多重検定を行った。

結 果

1. 各番草の生育段階別分けつ数

(1) 1番草

1番草刈取時における総分けつ数は、処理間に有意差はなかったものの、干ばつ条件で経過した1995年型と2005年型では、平年型よりも少なかった(図IV-3-2)。1番草の伸長茎数は、処理間に明確な差がなかったものの、2005年型は出穂茎が少なかった(図IV-3-2)。

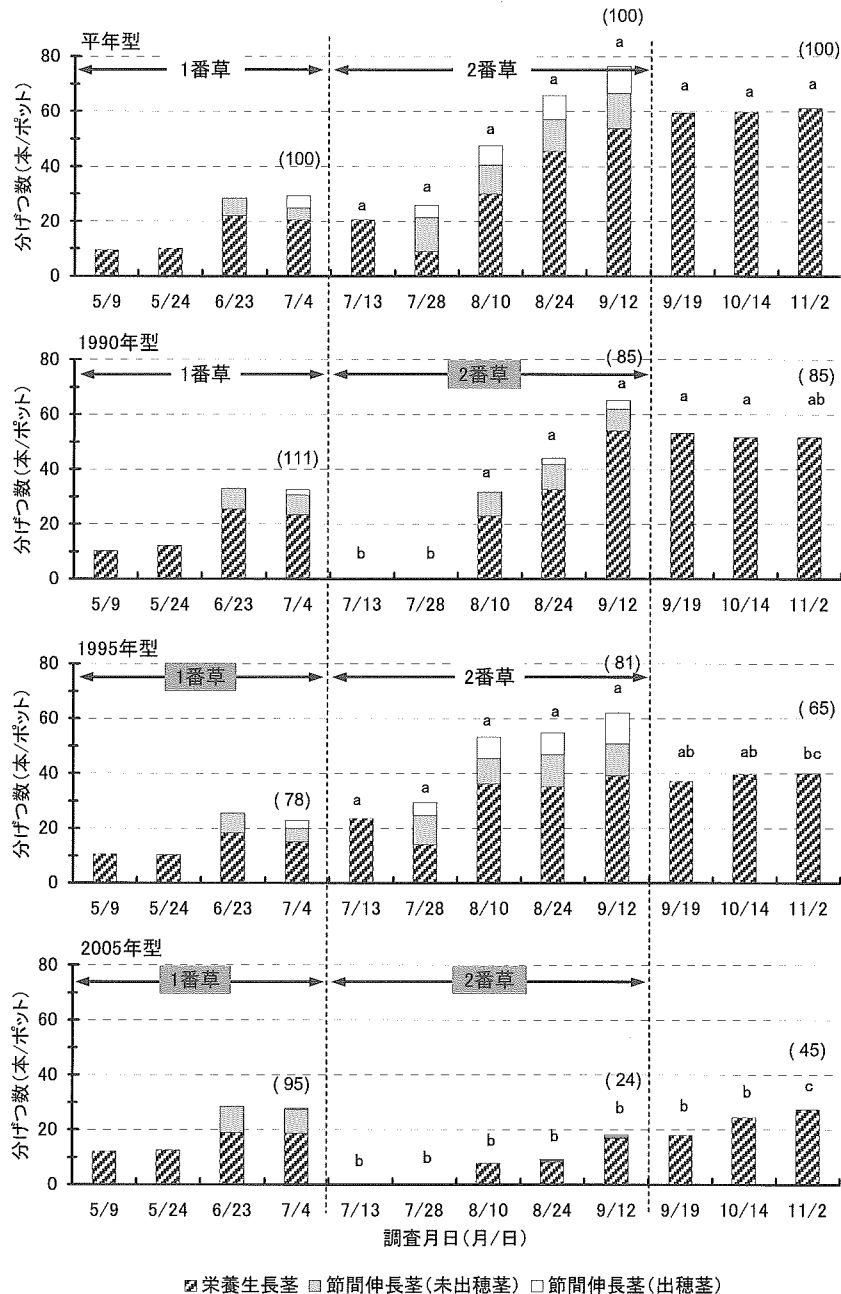
(2) 2番草

ポット栽培による本試験では、1番草刈取後の主な再生分けつとして、刈取時に栄養茎として存在し、茎頂を刈残された1番刈時既存の分けつと刈取後に地際から新たに発生する分けつが認められた。

1番草刈取後の再生は、刈取後から灌水がなされた平年型と1995年型では、既存分けつが新葉を生長させたため、速やかに認められた(図IV-3-2, IV-3-3)。ところが刈取後7月20日を過ぎるまでほとんどあるいは全く灌水がなかった1990年型と2005年型では、7月末まで再生はなく、8月になってようやく再生が認められた(図IV-3-2, IV-3-3)。2005年型では、1番刈時既存分けつのうち、刈取後に再生した分けつが有意に少なく(図IV-3-4)、既存分けつの枯死率は80%に達し、全く再生しない枯死個体(ジェネット)がみられた[16]。2番草刈取時の伸長茎数は、1990年型と2005年型では平年型より少なく(図IV-3-2)、

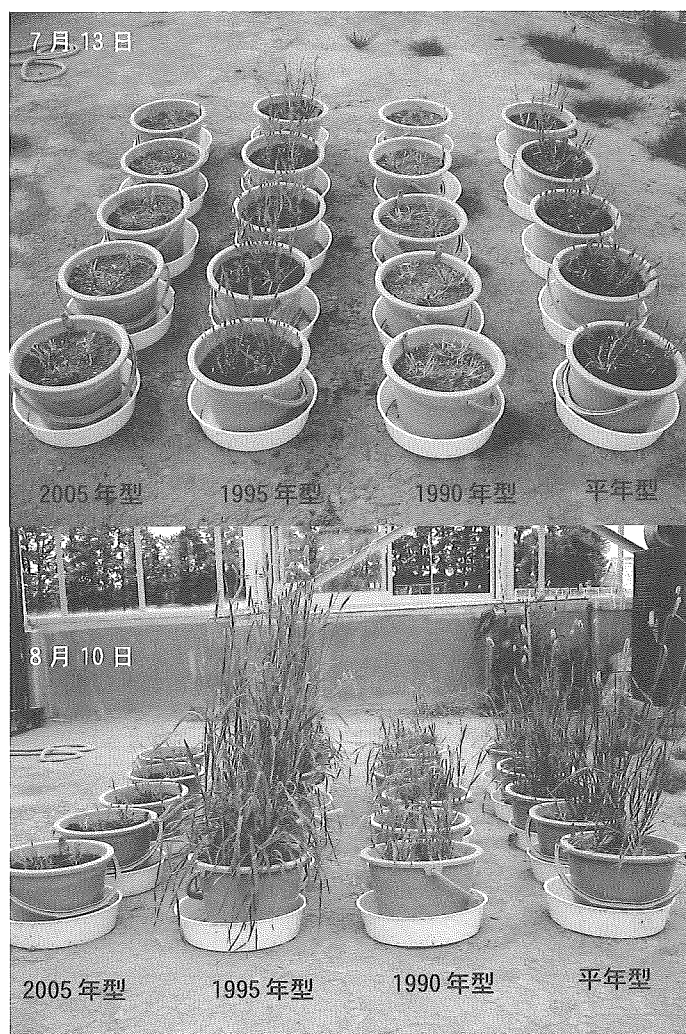
とくに2005年型は1ポット当たり1.0本と少なかった。他方1995年型の伸長茎数は平年型と同程度であった。なお、各処理区における2番刈時の伸長茎数は、7月28日または8月10日からあまり増加しなかったことから(図IV-3-2)、その多くは、1番刈時既存の分けつ(栄養茎)であったと推察された。そこで、2番刈

時の伸長茎数を、1番刈時既存分けつのうち1番刈後に再生した分けつの数と比較すると(図IV-3-4)、平年型ではほぼ同数であったが、1990年型では少なく、1995年型では多く、干ばつ条件では伸長茎が出現しにくかった。

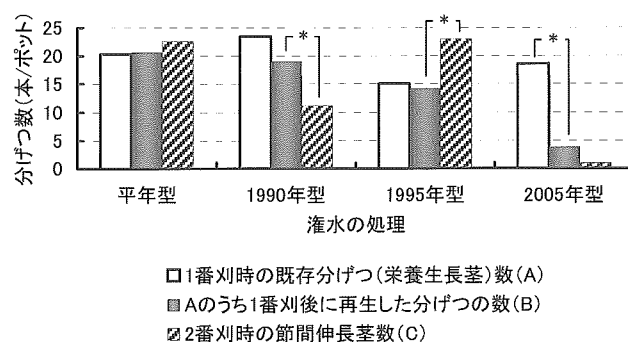


図IV-3-2. 異なる灌水量の条件下における生育段階別分けつ数の経時的推移.

供試品種は中生品種「キリタツプ」、1ポット3個体、各処理区とも5ポット(1/2, 000a, 褐色森林土)を供試した。干ばつ処理があった番草は網掛を付した。分けつ数は5ポットの平均値。異なるアルファベットはTukey法(有意水準5%)により同一調査日において総分けつ数に有意差があることを示す。刈取月日: 1番草7月4日, 2番草9月12日。()内は総分けつ数の平年型を100とする指数。



図IV-3-3. 1番草刈取後の再生の状況.
右から平年並み, 1990年, 1995年および2005年の灌水量.



図IV-3-4. 1番刈時既存分げつの再生.

1番草刈取月日：7月4日。調査月日は、平年型と1995年型は7月13日、1990年型と2005年型は8月10日であった。(A)と(B)、(B)と(C)の差の有意性をt検定(有意水準5%)により検定し有意差が認められた場合に*を示した。

一方、通常の群落条件下で生育するチモシーは、1番刈後の再生草の生産は主として新生分げつが担う[14]。1番刈後の新分げつ数の推移(図IV-3-5)をみると、1995年型では、1番刈後9日目(7月13日)に既に認められ、平年型でも7月中には認められた。これに対し、1990年型と2005年型は、8月になってようやく新分げつが認められた(図IV-3-5)。なお1990年型の新分げつ数は、その後2番草刈取期にかけて、平年型に近い値まで回復したが、2005年型の新分げつ数は、刈取期にかけて平年型より大幅に少なく推移した(図IV-3-5)。

(3) 越冬前

2番草刈取後9月19日の再生分げつ数は、各処理区とも2番刈時既存の栄養茎数とほぼ同数であり、多くは2番刈時既存の栄養茎であったが、以後越冬前にかけて、2005年型で増加傾向を示したほか、大きな増減

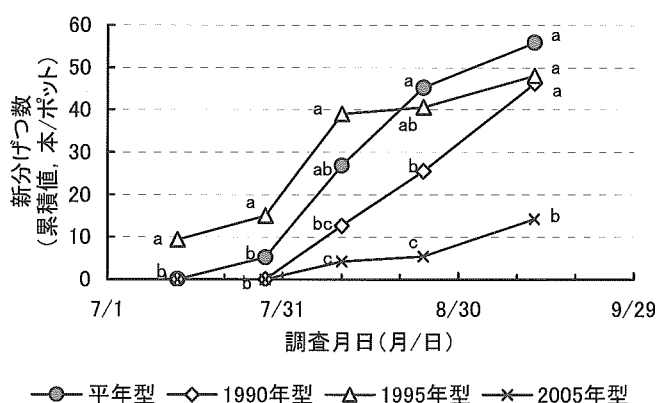
はなかった(図IV-3-2)。

越冬前11月2日の総分げつ数は1ポット当たりで平年型が61.2本、1990年型が51.8本、1995年型は40.0本、2005年型は27.4本であった(図IV-3-2)。

2. 灌水処理翌年の分げつ数

越冬後4月25日の分げつ数は、平年型が1ポット当たり50.0本、1990年型は59.4本、1995年型が31.0本、2005年型は41.8本と(表IV-3-1)、平年型と1995年型では越冬前より減少し、両区の枯死茎には雪腐大粒菌核病菌(*Myriosclerotinia borealis* (Bubak & Vleugel Kohn))の菌核が認められた(データ省略)。

処理翌年の総分げつ数は、1、2番草とも刈取期には有意差はなかったが、1番草では1995年型と2005年型は平年型より少ない傾向を示し、2番草において処理間差がほぼ消失した(表IV-3-1)。



図IV-3-5. 2番草において新たに発生した分げつ数の経時的推移。

2番草における新分げつ数=調査時総分げつ数-1番刈時に栄養茎として存在し、刈取後も再生した分げつ数。1番草刈取月日:7月4日。異なるアルファベットはTukey法(有意水準5%)により同一調査日における処理間に有意差があることを示す。

表IV-3-1. 異なる灌水量の条件が翌年の総分げつ数に及ぼす影響¹。

処理	総分げつ数(本/ポット)			節間伸長茎率(%)		
	越冬後	1番草	2番草	越冬後	1番草	2番草
平年型	50.0(100)ab	58.4(100) ²	52.2(100)	0	78	42
1990年型	59.4(119) a	63.6(109)	51.0(98)	0	71	44
1995年型	31.0(62) b	38.4(66)	50.2(96)	0	80	41
2005年型	41.8(84)ab	41.4(71)	49.2(94)	0	81	36

¹越冬後:4月25日,1番草:6月27日,2番草:9月5日。異なるアルファベットはTukey法(有意水準5%)により有意差があることを示す。

²()内は平年並みの降水を想定したかん水量の処理区(平年型)を100とした指数。

考 察

1. 干ばつによるチモシーの分げつ密度の減少

本試験の結果、チモシーは、1995 年型や 2005 年型のように、1 番草で降水が少ないと、処理間に有意差はなかったが、いずれも平年型と比べて分げつ数の減少が認められた（図Ⅳ-3-2）。また、それぞれ乾物収量[16]は、平年型の 78%, 69%に止まったが、この 1995 年型と 2005 年型の減収率の差は、1 番草生育期間中の降水量の差（1995 年は 87mm, 2005 年は 27mm, 表Ⅳ-3-2）に起因したと推察された。

一方、1995 年型のように、1 番草で干ばつにあっても、1 番草刈取後に十分な降水（2 番草生育期間中の降水量は平年比 132%, 表Ⅳ-3-2）があれば、刈取時の既存分げつはほぼ全てが再生し（図Ⅳ-3-4）、刈取

後間もなく新分げつの発生も認められた（図Ⅳ-3-5）。とくに 1995 年型において 2 番草の生育が良好であったこと（図Ⅳ-3-3）の理由として、1 番草刈取りの前後から平年を上回る十分な灌水があり（1 番草刈取期の前後 10 日間の降水量は平年比 170%, 図Ⅳ-3-1 および表Ⅳ-3-2）、2 番草の再生が速やかに開始したこと（図Ⅳ-3-2）、そのほか、1 番草で利用されなかった肥料成分の残効、あるいは 1 番草の土壌の乾燥刺激による根系のより下層への生長や吸水能力の違い[97, 142, 143, 175]などが推測される。

他方、1990 年型や 2005 年型のように、1 番草刈取後に干ばつにあうと、再生遅延による乾物生産の停滞（図Ⅳ-3-3）、新分げつ数の減少（図Ⅳ-3-5）による分げつ数の減少（図Ⅳ-3-2）、あるいは伸長茎の数や割合の低下が認められた。

表Ⅳ-3-2. 1, 2 番草の生育期間中における積算降水量ならびに 1 日当たり降水量¹.

期 間	積算降水量(mm)				1日当たり降水量(mm/日)			
	平年	1990年	1995年	2005年	平年	1990年	1995年	2005年
5月21日-7月4日 (1番草生育期間)	99 (100)	104 (105)	87 (88)	27 (27)	2.2	2.3	1.9	0.6
6月1日-6月30日 (節間伸長期)	65 (100)	69 (106)	36 (55)	27 (41)	2.2	2.3	1.2	0.9
6月30日-7月9日 (1番草刈取期の前後10日間)	23 (100)	5 (22)	39 (170)	0 (0)	2.3	0.5	3.9	0.0
7月5日-9月12日 (2番草生育期間)	270 (100)	285 (105)	356 (132)	360 (133)	3.9	4.1	5.1	5.1
7月5日-7月19日 (1番刈後15日間)	36 (100)	3 (8)	30 (83)	0 (0)	2.4	0.2	2.0	0.0
7月5日-7月29日 (1番刈後25日間)	73 (100)	37 (51)	160 (219)	76 (104)	2.9	1.5	6.4	3.0
7月30日-9月12日 (47日間)	197 (100)	248 (126)	196 (99)	284 (144)	4.2	5.3	4.2	6.0
5月21日-9月12日 (1, 2番草生育期間合計)	369 (100)	389 (105)	443 (120)	387 (105)	3.2	3.4	3.9	3.4

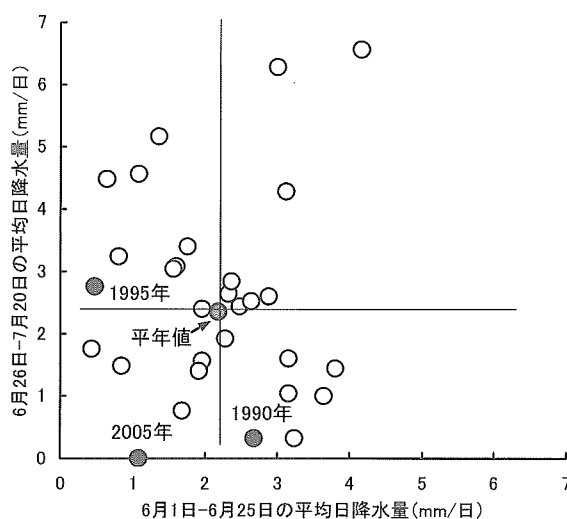
¹()内は平年を100とする指数。網掛けは1日当たり降水量が2.0mmを下回った期間。

1990 年型と 2005 年型の 2 番草の生育の差異は、1 番草で降水に恵まれたか、それとも 1 番草から干ばつが続いたかの違いによるものと考えられた（図Ⅳ-3-1）。1990 年型は、1 番刈後に生育停滞がみられたものの、7 月下旬以降の降水とともに 1 番刈時既存分げつの多くが再生し（図Ⅳ-3-4）、新分げつの増加も加わって（図Ⅳ-3-5）、分げつ密度は 2 番刈時までにはほぼ平年型に近い値まで回復することができた（図Ⅳ-3-2）。ところが 2005 年型は、7 月下旬以降に適度な降水があった（図Ⅳ-3-1）にもかかわらず、年内は分げつ密度が低いまま経過し（図Ⅳ-3-2）、回復は翌

年まで持ち越された（表Ⅳ-3-1）。チモシー草地では通常、6-7 月の 1 番草刈取後の再生は、既存分げつよりも主として刈株の腋芽の発育に由来する新分げつの発生と生長に依存する[14, 154]。1 番草刈取後に茎頂を失った刈株（球茎）やその根は、いずれ枯死するものの、刈取後しばらくの期間はその生理機能を有し[6]、少なくとも新分げつが独自の根を発根させて独立栄養生長期へ移行するまでは、土壌中養水分供給の役割を担うと推測される。つまり、1 番草刈取後の既存分げつの刈株組織は、2 番草収量の主体となる新分げつが、発生してから独立栄養生長期に移行するまでの期間、

「つなぎ役」として重要な役割を果たすが、干ばつが長期に及んだ2005年型は、1番刈後に枯死個体（ジェネット）が発生するような過度な干ばつストレス条件

となったことから、刈株組織がそのような役目を十分に果たせず、そのため新分けつが十分に確保されなかったものと推察された。



図IV-3-6. 浜頓別町における過去30年（1976-2005年）のチモシー1番草刈取りの前後における日降水量。気象庁アメダスデータ。チモシー中生品種1番草の一般的な刈取時期を6月25日と想定し、その前後25日間について求めた。

2. 干ばつの時期が分けつ密度に及ぼす影響

道北地方では、融雪水に由来する土壤水分を牧草が利用できる6月は、降水量が乏しくても牧草生産の顕著な阻害はみられないが、その結果融雪水を使い切り、土壤水分が枯渇した状況にある次番草では、降水量がその生育期間においてしばしば生育の阻害要因になるとされている[40, 112]。また、チモシーは6, 7月の1番草刈取りの前後において、新旧分けつの大幅な交代が生じるため、草地の永続性にとって当該時期の分けつの世代交代が円滑に進むことが重要となる。Garwood (1969) [25]は、灌漑条件と非灌漑条件でチモシーの分けつの発消長を調査し、土壤の乾燥が顕著な年は、6-8月の分けつ増加が遅延したが、灌漑すると7月の新分けつの発生数が有意に多かったと報告した。本試験は、圃場とは条件が異なったものの、分けつ数は1番草において処理間に有意差が認められなかったが(図IV-3-2)、2番草では有意差が生じ、また、枯死分けつ率、新生分けつ数の推移などの生育に大きな処理間差が認められた(図IV-3-3, IV-3-4, IV-3-5)。表IV-3-2に示したように、2番草で干ばつにより再生が遅延した1990年型は、2番草生育期間中の積算灌水量は平年比105%とほぼ平年並みであった。しかし、7月の降水量、とくに刈取後15日間(7月5

日-7月19日)の積算降水量は平年より少なく(平年比8%, 表IV-3-2)、一方で8月以降の積算降水量は平年より多かった。1990年型は8月に入ってから分けつ数が増加し、2番草刈取期の総分けつ数は平年型の85%にまで達した。しかし平均1茎重は平年型の81%と追いつくことができず、乾物収量は平年型の69%に止まった[16]。つまり、1990年型のように、8月に入って降水量が多くても、1番草刈取後7月の再生時期に降水量が著しく不足した場合には、乾物収量は平年型に追いつくことはできなかった。以上のように、既往の知見[40, 112]や本試験の調査結果から、チモシーにおいても干ばつの時期が生育に及ぼす悪影響は1番草よりも1番草刈取後(2番草)において、またその生育初期でより大きく、1番草刈取後の分けつ密度の維持は、干ばつストレスの影響を受けやすいと推察された。とりわけ2005年のように、1番草から1番刈後にかけて干ばつが続いた年は、1番刈後に十分な新分けつ数が確保されず、2番草以降のチモシー株密度の顕著な減少を招く恐れがあるものと思われた。

干害は適切な灌漑によって回避することができる[152]。大塚ら(2000) [141]は、チモシーの2番草生育に最も影響を及ぼす水分供給時期は、1番草刈取後の独立再生期後15日間程度とした。本試験における

1995年の降水パターンと生育との関係から、経年草地の管理では、1番草で降水量が不足した年は、1番刈後7月上旬頃の適量の人工灌水（灌漑）が再生を促し、2005年型のような大幅な減収の回避策として有効であることが示唆された。

3. 干ばつ後の分げつ密度回復の可能性

本項において、2005年型のように干ばつが長期に及び、2番草で分げつ密度が大きく低下した年でも、その後平年並みの降水があれば、分げつ密度は翌年にはほぼ平年型に近い値まで回復した（表IV-3-1）。また、本試験はガラス室内で行ったため、全般に屋外よりも高温条件にあったこと、1番草は圃場からスコップにより深さ10cm程度で掘り取り採取した個体を調査対象としたため、処理開始時の根量は圃場よりも少なく根の深さは極浅かったと考えられること、加えて圃場の方がポット栽培よりも土壌の含水量の低下がゆっくりであること[57]などから、ポット栽培は圃場よりも生育に不利な条件にあったと思われる。さらに、過去30年のチモシー1番草の刈取期の前後における降水量をみると、とりわけ2005年は降水不足が顕著な年であった（図IV-3-6）。一方、越冬前後の分げつ数の変化や雪腐病の発生状況から、夏季の干ばつが越冬性に不利な影響を及ぼす恐れは小さいことが示唆された。雪腐大粒菌核病は、窒素質肥料の施肥量が少ない区で発病が多いことから[144]、2番草で干ばつにより平年型と比べ生育量が劣った1990年型と2005年型は、植物体に吸収されずに土壌に残存した窒素が発病程度を軽減させた可能性があるが、今後の確認が必要である。以上のことから、道北地方のチモシーの褐色森林土草地では、干ばつに遭遇しても多くの場合、分げつ密度は翌年にかけて回復しうるものと推察された。なお、干ばつ条件下で再生性を異にする他種植物が、その共存下でチモシーの分げつ密度に及ぼす影響は、別途検討が必要であろう。また、褐色森林土よりも土壌有効水分が少なく、降水不足年の収量低下がより大きな褐色低地土[98]、それらの欠点に加え下層土からの水分供給の乏しい灰色台地土[112]では、干ばつの被害はより大きくなる可能性もあり、土壌型にも留意する必要があると思われる。

小 括

干ばつがチモシーの経年個体の生育に及ぼす影響を明らかにするため、道北地方（浜頓別町）において、生育期間中に降水量の少ない時期が比較的長く続いた

年次（1990年（1番刈後に干ばつ）、1995年（1番草で干ばつ）、2005年（1番草から1番刈後にかけて干ばつ））を選定し、各年次の降水量を模した灌水を人為的に行って、対照区（平年値の処理区）と比較した。試験はポット栽培で行い、土壌は褐色森林土を用いた。1番草、2番草とも、降水量が少ないと、分げつ密度は低下した。とくに、1番草刈取後の干ばつは、2番草において、明らかな再生の遅延、新分げつ数の減少を招いた（1990年型、2005年型）。また、1番草から2番草にかけて干ばつが続いた2005年型では、2番草の分げつ密度は平年型の24%まで低下し、枯死個体が発生した。チモシーでは1番草刈取後の再生草の分げつ密度は干ばつストレスの影響を受けやすいと推察された。しかし、その後平年並みの降水があれば、いずれの処理区とも翌年にかけて分げつ密度は平年並みに回復しうるということが示唆された。

第2項 土壌の種類が干ばつ条件下におけるチモシーの分げつ密度に及ぼす影響

北海道では、不良土壌である火山性土（黒ボク土）、いわゆる重粘土、泥炭土（これらは「特殊土壌」とも呼ばれていた）の分布が多いが、このうち後二者は道北地域に広く分布し[31]、とくに重粘土は固相容積が大きく、毛管孔隙が少ないため、保水性が小さく、降水不足に加えて干害を助長しやすい[31, 36, 100]。一方、泥炭土は、もともと無機質土壌の6-7倍の保水力を持っており、過湿のため圃場整備の際には排水により地下水位を下げるのが何より重要とされる[31, 65, 186]。しかし、逆に過度の排水は干ばつを引き起こす恐れがある[36, 65, 123]。全国の泥炭土の89.0%は北海道に存在し[186]、その面積は19万haに及ぶ[65]。このように、北海道においても、道北地方のように、土壌や気象の条件から干ばつが発生しやすい地域がみられる。一方、道東、道央南部、道南の大部分の草地土壌が黒ボク土である[36]。黒ボク土は一般に有効水分を蓄える孔隙量が多く干ばつ害を受けにくい[94]。

しかしこれまで、チモシーに関して、これら不良土壌における干ばつ条件下の生育の実態については、必ずしも十分に明らかになっていない。そこでここでは、天北地方で分布の多い褐色森林土を対照とし、泥炭土、さらに十勝地方産の黒ボク土を主体とする市販の園芸用土壌を供試して、土壌の種類が干ばつ条件下におけるチモシーの分げつ密度に及ぼす影響を比較検討した。なお、実際の天北地方の泥炭草地における水分環境は、

地下水位の影響や客土などの基盤整備の影響を受けている[49, 50]。しかし、ここではそれらの影響は除外して検討を行った。

材料と方法

上川農業試験場天北支場圃場（北海道枝幸郡浜頓別町）において採取した褐色森林土、泥炭土、ならびに十勝地方産の黒ボク土を主体とする市販の園芸用土壌（以下黒ボク土とする）を各々5ポット（1/2,000a）に充填した。チモシー中生産種「キリタツ」を播種（播種量：1.8kg/10a）して造成した播種後4年目の草地から、2007年5月14日に草丈が15cm程度で茎葉の総量に大差がないチモシー個体（2-10本の分けつからなるジェネット）を掘取り採取し、任意の個体を1ポット当たり3個体ずつ移植した。各土壌とも5ポット15個体を供試した。ポットは本節第1項と同様に降雨が当たらないようガラス室内に静置し、ガラス室の窓や扉は屋外との気温差を緩和するため全て開方するとともに換気扇による換気を行った。なお、移植直後には各土壌とも圃場要水量に達するように、十分な灌水を行った。

浜頓別町における2005年の降水量（図IV-3-7）を模した人為的灌水を、本節第1項と同様の方法で行った。ただし、本項における灌水処理は、6月1日以降（第1項では5月21日以降であった）2番草刈取期にかけて行った。なお、1回の灌水量が50mmを超える場合は、第1項と同様にそれ以上の灌水は行わなかった。また、2番草刈取後は十分な灌水を行った。

調査形質は、分けつ数（本/ポット）とした。各土壌とも、5ポットのうち1ポットにテンシオメーターを設置し、数日おきに地表から深さ10cmにおける毛管ポテンシャルを測定した[94]。生育調査はテンシオメーター未設置の4ポットの計12個体について行った。

分けつ数は、分けつを葉身に刈取りの痕跡が認められる分けつ（刈跡有り）と認められない分けつ（刈跡無し）とに区分して、それぞれの数を計測した。刈取りは1番草が6月27日、2番草は9月5日に行った。

結果と考察

1. 各土壌の毛管ポテンシャル

図IV-3-7に干ばつ年（2005年）の浜頓別町における6月1日以降の日降水量と2005年の降雨を模して人為的に行った灌水量の推移、ならびに各土壌における

毛管ポテンシャル（深さ10cm）の推移を示した。

泥炭土と黒ボク土の毛管ポテンシャルは、6月上旬には-0.02MPa前後を示し、以後6月下旬の1番草刈取期にかけて、いずれも毛管連絡切断含水量（水分当量：pF2.7）[94, 177]に相当する-0.05MPaか、それ以下まで低下した。なお、1番草刈取期まで、全般に泥炭土の方が黒ボク土より低い値で推移した。

一方褐色森林土は、処理を開始した6月上旬において、既に毛管連絡切断含水量を下回る-0.06MPa前後まで低下し、1番草刈取期にはテンシオメーターの測定限界値[176]である-0.08MPaに近い値に達していた。

毛管ポテンシャルは、1番草刈取後7月上旬から7月下旬にかけて、黒ボク土では低いときでも水分当量（-0.05MPa=pF2.7）をやや下回る-0.06MPa程度で推移したが、泥炭土と褐色森林土では-0.07MPaないし-0.08MPaまで低下し、水分当量を明らかに下回って推移した。なお、褐色森林土と泥炭土の比較では、7月には泥炭土の方がより低くなる傾向が認められた。

褐色森林土や泥炭土では、7月にはテンシオメーターの測定限界値である-0.08MPaに近い値となったが、6月下旬から7月の末まで無灌水が継続したことからも、実際には-0.08MPaよりももっと下回っていた可能性があるかと推察された。

また、1番草刈取後において、7月上旬のように、灌水がなかったにもかかわらず毛管ポテンシャルが一時的に上昇することがあったが、これは土壌の容量が制限されたポット栽培における測定のため、テンシオメーター水柱への水の補給に伴う土壌中への水の浸み出しや、茎葉の刈取りによる一時的な蒸散作用の停止が影響したものと推察された。

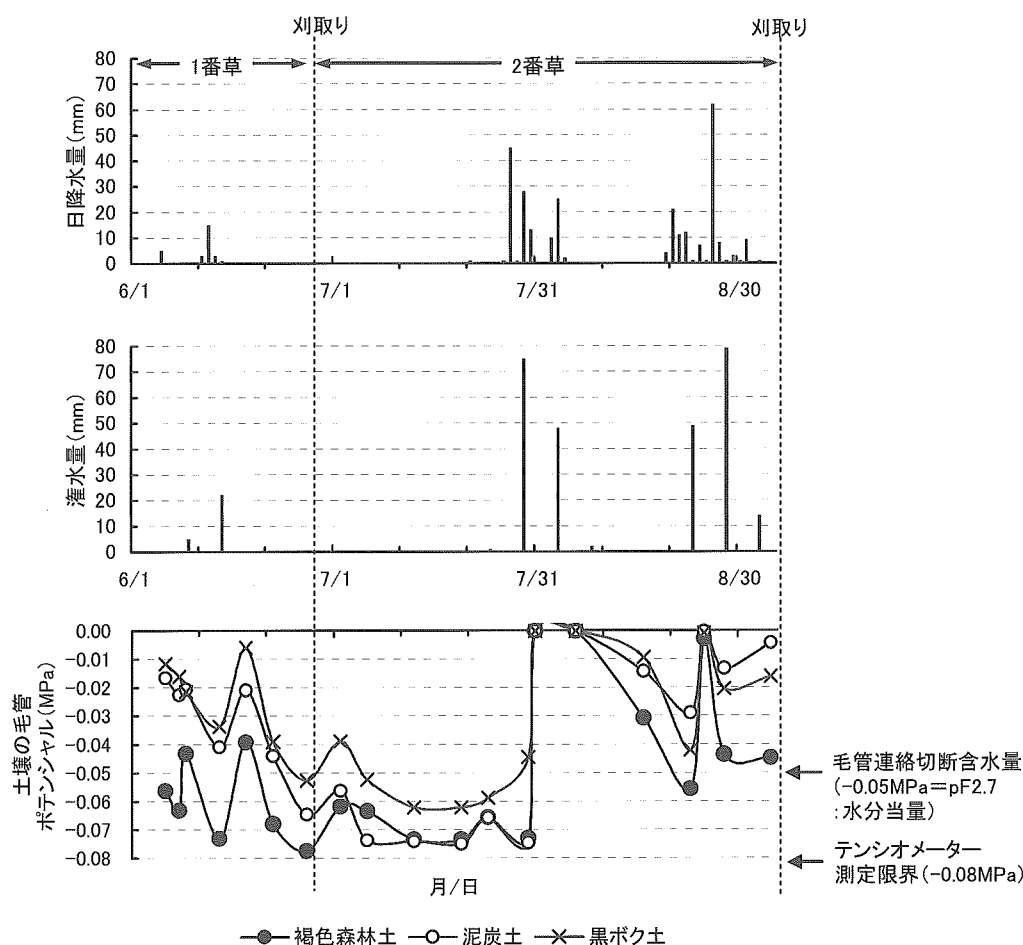
各土壌とも7月下旬の灌水後は、毛管ポテンシャルが大きく上昇し、以後8月にかけて上下動は認められたものの、全般に水分当量（-0.05MPa）よりも高い値で推移した。8月下旬以降の毛管ポテンシャルの値は、泥炭土>黒ボク土>褐色森林土で推移した。これは、8月下旬が多雨条件にあったこと（図IV-3-7）や、泥炭土では植物体が枯死し、蒸散が無くなったことから、当該条件下における泥炭土本来の保水力の高さが表れたものと推察された。

2. 各土壌における分けつ数の推移

(1) 1番草

褐色森林土では1番草の生育期間（5月21日-6月27日）中において、総分けつ数の有意な増加は認められなかった（図IV-3-8, 表IV-3-3）。一方、泥炭土と黒ボク土では総分けつ数が有意に増加した（図IV-3

—8, 表IV—3—3)。1 番草刈取期の総分げつ数は、泥炭土が褐色森林土や黒ボク土より有意に多かった (図IV—3—8)。



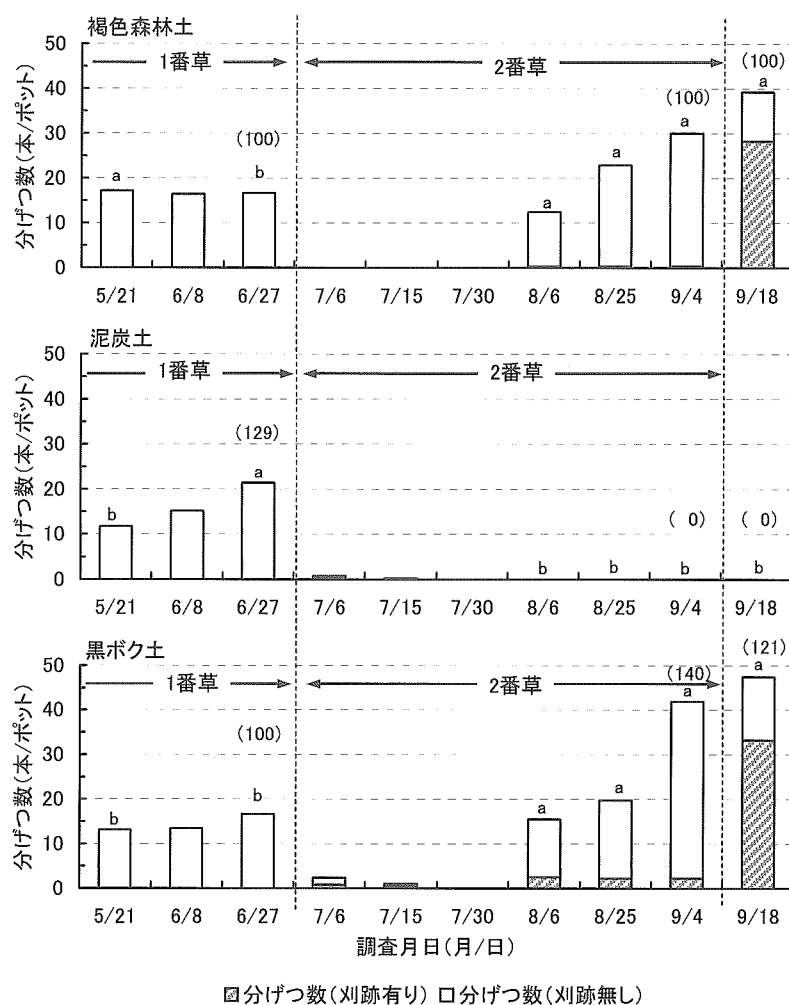
図IV—3—7. 干ばつ年(2005年浜頓別町)の降雨を模した人為的灌水に伴う供試土壌の毛管ポテンシャルの推移。褐色森林土、泥炭土：上川農試天北支場圃場(浜頓別町)から採取。黒ボク土：十勝産の黒ボク土を主体とする市販の園芸用土壌。灌水処理は6月1日以降の降雨について2番草刈取期までほぼ5日おきに灌水日以前5日間の積算値に相当する量の水道を灌水した。ポット(1/2,000 a)に充填しチモシーを移植した土壌の深さ10cmにおけるテンシオメーターによる測定値。刈取月日は1番草が6月27日、2番草は9月5日。

表IV—3—3に1番草で出現した伸長茎数を示したが、褐色森林土では5月21日に生存した総分げつ数と比べ、1番刈時(6月27日)の伸長茎数は有意に少なかった。一方、泥炭土では5月21日の総分げつ数より1番刈時の伸長茎数は有意に多くなった。他方、黒ボク土では5月21日の総分げつ数と1番刈時の伸長茎数は有意差がなかった。

したがって、1番草(6月)において、土壌水分が概ね毛管連絡切断含水量(−0.05MPa)以上で推移した泥炭土と黒ボク土では、1番草の生育期間中に分げつ数が増加した。これに対して、土壌水分が毛管連絡切断

含水量(−0.05MPa)を下回る場合が多かった褐色森林土では、分げつ数はほとんど増加しなかった。

伸長茎は栄養茎と比べ茎重が大きく、チモシーの採草利用1番草では乾物生産の主体を占めることから、伸長茎の出現程度をみると、黒ボク土では春に存在した分げつのほとんどが、また泥炭土では春に存在した分げつ数を上回る数の分げつが1番刈時に伸長茎となった(表IV—3—3)。一方褐色森林土では、1番刈時の伸長茎数は春に存在した分げつ数を下回った。このことから褐色森林土では、伸長茎の発生も抑制されたと考えられた。



図IV-3-8. 干ばつ年（2005年）の降雨を模した人工灌水条件における土壌型とチモシーの分けつ数の推移との関係。

チモシー「キリタツ」。5月14日にポットへ3個体ずつ移植。茎葉の生長が認められる生存分けつ数。テンシオメーター未設置の4ポット（1/2,000 a）の平均値。刈取月日：1番草6月27日、2番草9月5日。調査日ごとに総分けつ数は土壌型間差の有意性をTukey法（有意水準5%）により検定した。異なるアルファベットは有意差が認められたことを示す。（）内に褐色森林土に対する百分比を示した。

表IV-3-3. 1番草の分けつ数の増加における土壌型間の差異。

土壌型	分けつ数(本/ポット)			差の有意性 ² (t検定)		節間伸長茎率 ³ (%)
	5月21日	6月27日 ¹				6月27日
	総分けつ数(A)	総分けつ数(B)	節間伸長茎数(C)	B-A	C-A	
褐色森林土	17.2	16.6 (97)	13.8 (80)	n.s.	*	83.9
泥炭土	11.8	21.4 (181)	15.4 (131)	**	*	72.5
黒ボク土	13.2	16.6 (126)	12.4 (94)	**	n.s.	74.8

¹（）内は5月21日の総分けつ数に対する百分比。

²AとB, AとCの差に関するt検定（有意水準5%）の結果。n.s.は有意差無し, *, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意差有り。

³1番草刈取期(6月27日)の総分けつ数に占める節間伸長茎数の割合。Tukey法（有意水準5%）による多重検定の結果、土壌間に有意差はなかった(Tukey法, 有意水準5%)。



図IV-3-9. 各土壌型における 2005 年の干ばつを想定した灌水条件下における 1 番草刈取後の生育。
1 番草刈取月日：6 月 27 日。泥炭土は乾燥により収縮している。

(2) 2 番草

1 番草刈取後 7 月は、褐色森林土では再生茎が皆無であったが、泥炭土と黒ボク土では、刈取直後 (7 月 6 日) の調査で少数ながら新葉を再生する分げつが認められた (図IV-3-8)。これは、泥炭土や黒ボク土では、1 番刈時以前の毛管ポテンシャルが褐色森林土と比べ高く、また土壤水分が水分当量を上回って推移したためと推察された (図IV-3-7)。ただし、これら刈取直後にみられた再生分げつは、刈跡の有無にかかわらず刈取時に既存であった分げつと認められ、7 月の干ばつ期間中に全て枯死した (図IV-3-8)。牧草の再生は刈取直後の再生初期 (依存再生期) と独立再生期に分けられ、再生初期には新葉再生のために刈株の炭水化物含量に左右される。しかし、自ら光合成を行う後半の再生は、貯蔵炭水化物にはあまり関係がなく、窒素肥料や水分に左右される [154]。本試験では水分の供給

不足により分げつが枯死した。

図IV-3-9 に 1 番草刈取後 33 日目 (7 月 30 日) と同 51 日目 (8 月 18 日) の生育状況を示した。7 月 30 日にはいずれの土壌においても再生分げつは認められなかった (図IV-3-9)。7 月末に灌水したことによって、8 月 3 日には褐色森林土と黒ボク土で新葉を再生した個体 (ジェネット) が認められるようになり、8 月 6 日には両土壌とも供試個体の全てにおいて新葉を再生し、枯死個体は認められなかった (図IV-3-8)。一方泥炭土では 1 番刈直後を除き、供試した全ての個体が再生せずに枯死した (図IV-3-8, IV-3-9)。8 月 6 日以降の再生分げつをみると、褐色森林土、黒ボク土とも、再生分げつのほとんどは新たに発生した分げつであった (図IV-3-8)。1 番刈時に既存であった刈跡有りの再生分げつは褐色森林土よりも黒ボク土で多く認められた (図IV-3-8)。黒ボク土では、7 月の

干ばつ期間中の毛管ポテンシャルが褐色森林土よりも高く推移したため(図IV-3-7), 1 番刈時に栄養茎として既存であった分げつが7月の干ばつ期間を経ても生き残りやすかったものと推察された。2 番草刈取時(9月4日)の分げつ数を褐色森林土と黒ボク土と比較すると, 有意差は認められなかった(図IV-3-8)。しかし, 後者において, より多くの分げつが発生した(図IV-3-8)。このことは, 8月の毛管ポテンシャルが褐色森林土より黒ボク土で高く推移したことによるものと推察された(図IV-3-7)。

なお本節第1項で浜頓別町の2005年(干ばつ年)の降雨を模した灌水処理を行った場合とほぼ同様に, 本項においても2番草では伸長茎の発生は認められなかった。

3. 泥炭土におけるチモシーの枯死と干ばつ対策

本試験の結果から, チモシーの経年個体は, 黒ボク土や褐色森林土では, 6月の伸長茎が多発する時期から7月の1番草刈取後にかけて約1か月に及んだ無降雨を経ても生存できるが, 泥炭土で干ばつになった場合は, 多くの個体が枯死する危険性があることが示唆された(図IV-3-8, IV-3-9)。

泥炭土では過度な排水は干ばつを招く[36, 65, 123]。また泥炭土は一度排水乾燥すると, 著しく収縮するとともに, 粗孔隙が多いため泥炭土自体の吸水能力(保水力)も大きく低下する[65, 123]。本試験でも泥炭土は乾燥によって著しく収縮する[65]様子が認められた(図IV-3-9)。一方, 作物は干ばつ状態が長く続くと乾燥死する[177]。したがって, 本試験では土壌水分が水分当量を下回るような干ばつ期間が長期に及んだことに加えて(図IV-3-7), 泥炭土のこのような性質が相まって, 泥炭土では枯死個体が発生したものと推察された。

なお, 泥炭土でも, テンシオメーターを設置したポットでは7月下旬に灌水が再開されると各個体とも枯死することなく再生した(データ省略)。これはテンシオメーターに注ぎ足した水が周囲の土壌に徐々に浸み出したことによるものと推察された。しかしながら6月下旬から7月下旬にかけてテンシオメーターの水柱に注ぎ足した水の量(253ml)は, 降水量換算で合計5.1mmとわずかな量であった。このことから, 干ばつ条件下の泥炭土でも, 根圏に極少量でも水補給がなされる環境なら, チモシー個体は枯死を免れられることが示唆された。

本試験はポット栽培であったため, 土壌の表層が乾燥しても, 下層からの水の供給は一般の圃場ほどには

期待できない。また, ポットに移植した苗は, 5月に圃場から深さ10cm程度でスコップにより掘り取り採取したため, 移植後の土壌内における根系の占有領域は圃場と比べ小さかったと思われる。したがって, 圃場と比べると, 干ばつの悪影響はより大きかったものと推察される。天北地方の泥炭草地では, カリウムなどの施肥不足による生産性の低下という実態はあるものの, 水分不足による生産性低下は実際にはない[50]。伊藤(1997)[50]はこの要因として, 多くの泥炭草地で地下水位が比較的適切な範囲にあることや植物遺体内部のストロー状の孔隙に多くの水が存在することを挙げている。本試験は地下水の影響の無いポット試験であったことに留意する必要がある。

泥炭草地において不足している地耐力不足を補うため今後客土の上積みが必須である。しかし, その場合土砂含量が増加し, 孔隙の減少による牧草への水分供給不足が懸念されるため, 過排水を極力抑制して作土に対する水分供給量を低下させないようにすることが重要である[50]。泥炭土は元々湿潤な性質であるため, 本来は牧草生育や地耐力を鑑みて, 排水により地下水位を数十cmまで下げることが重要である[31, 186]。しかし, 逆に過度な排水は干ばつ害を発生させるので, 干ばつ害回避のためには, 排水過剰を避けることが重要である[36, 65, 123]。本試験の結果からも, 泥炭土では過度な排水を避けることが干ばつ害を回避する上で重要であることが認められた。

小 括

天北地方で分布の多い褐色森林土と泥炭土, ならびに黒ボク土を供試して, 干ばつ年(2005年)の降水(浜頓別町)を, 人為的灌水により再現し, これら異なる土壌型における干ばつ年のチモシー経年個体の生育の実態を明らかにした。

1 番草では, 分げつ数は, 褐色森林土では増加しなかった。一方, 泥炭土と黒ボク土では分げつ数が増加した。褐色森林土では伸長茎の発生も抑制された。泥炭土が多収であったことの一因として, 1 番草生育期間中の干ばつが, 排水による作用と同様に泥炭分解を促し, 土壌の窒素供給力が高くなったことが推察された。

2 番草ではいずれの土壌でも再生の遅延が認められた。また, 泥炭土では灌水再開後も再生個体はなく, 全個体が枯死した。褐色森林土と黒ボク土では2番草で全ての個体が再生した。チモシーは, 褐色森林土と

黒ボク土では6月の伸長茎が多発する時期から7月の1番草刈取後にかけて約1か月に及んだ無降雨を経ても生存できる。しかし、泥炭土で同様の干ばつに遭遇した場合は、多くの個体が枯死する危険性があることが示唆された。

第V章 チモシーにおける分けつ密度維持の対策

本章では、チモシーの分けつ密度維持対策として、チモシーの生育を抑制しない混播相手品種の選択と導入の効果、ならびに分けつ密度が低下しにくいチモシー品種の選抜育種の可能性について明らかにする。

第1節 混播相手品種の選定

第IV章第2節第1項では、チモシーの混播相手シロクロバ品種として中葉型品種を供試して多回刈り（年間6回刈り）を行った。その結果、利用頻度が増加するほど、シロクロバの生育量と構成割合は増加し、反対にチモシーの被度や構成割合は低下した。シロクロバの品種は、小葉サイズにより大葉型、中葉型、小葉型に分類されているが、小葉型品種は草勢が比較的穏やかであることから[108, 109]、主としてチモシーとの混播用品種として利用されている。

混播草地におけるチモシーの分けつ密度の低下を緩和する手段の一つとして、混播してもチモシーの生育を抑制しないような草勢の穏やかな混播相手草種・品種の選定が考えられる。そこで、本節では、チモシーの分けつ密度維持対策の一つとして、草勢のより穏やかなシロクロバ品種の混播がチモシーの分けつ密度維持に及ぼす効果について検討した。

材料と方法

本試験は、根釧農業試験場圃場（北海道標津郡中標津町）で実施した。チモシーは中生品種「キリタツプ」と晩生品種「ホクシュウ」を供試した。チモシーはラジノクロバ（大葉型シロクロバ）と混播すると、年間4回の刈取りによって完全に抑圧されることから[126]、チモシーとの混播に供試するシロクロバ品種は、ここでは中葉型品種「ラモーナ」のほか、小葉型品種「リベンデル」とした。

播種年（1997年）は7月30日と9月22日に掃除刈りを行い、2年目（1998年）以降の刈取りは年間6回、チモシーの草丈が30-40cmに達したことを目安に実施した。刈取月日は表IV-2-1（第IV章第2節第1項）に示した。生育と収量の調査を播種後2年目（1998年）から4年目（2000年）にかけて行った。調査項目は草種別の乾物収量（kg/a）、草種構成（%FM）および冠部被度（%）とした。

結果と考察

1. 混播相手シロクロバ品種の違いがチモシー品種の収量と構成割合に及ぼす影響

（1）年間合計乾物収量

1) シロクロバ品種の違いが各草種の収量に及ぼす影響

チモシー「キリタツプ」または「ホクシュウ」とシロクロバ中葉型または小葉型の品種を混播した草地における年次別の合計乾物収量（表V-1-1）を草種別にみると、シロクロバの収量は、「キリタツプ」区、「ホクシュウ」区とも年次にかかわらず、「ラモーナ」が「リベンデル」より有意に高かった。また、チモシーの収量は、「キリタツプ」区、「ホクシュウ」区とも年次にかかわらず、「ラモーナ」区が「リベンデル」区よりも低く、3年目以降は「ラモーナ」区においてチモシー収量がシロクロバ収量を下回った。一方、「リベンデル」区では、4年目までチモシー収量がシロクロバ収量を下回ることにはなかった。

2) チモシー収量の品種間差

チモシーとシロクロバとの合計収量は、2年目（1998年）と3年目（1999年）では、チモシー品種が同じならシロクロバ品種が異なっても、またシロクロバ品種が同じならチモシー品種が異なっても、有意差は認められなかった（表V-1-1）。ところが4年目（2000年）は、いずれのシロクロバ品種を混播した場合も、「キリタツプ」区は「ホクシュウ」区と比べ有意に低収となった。このことは、「キリタツプ」区においてチモシー収量が有意に低くなったことに起因した（表V-1-1）。このことから、シロクロバ混播・多回刈り条件下では、「キリタツプ」の永続性は「ホクシュウ」に比べ劣ることが示唆された。

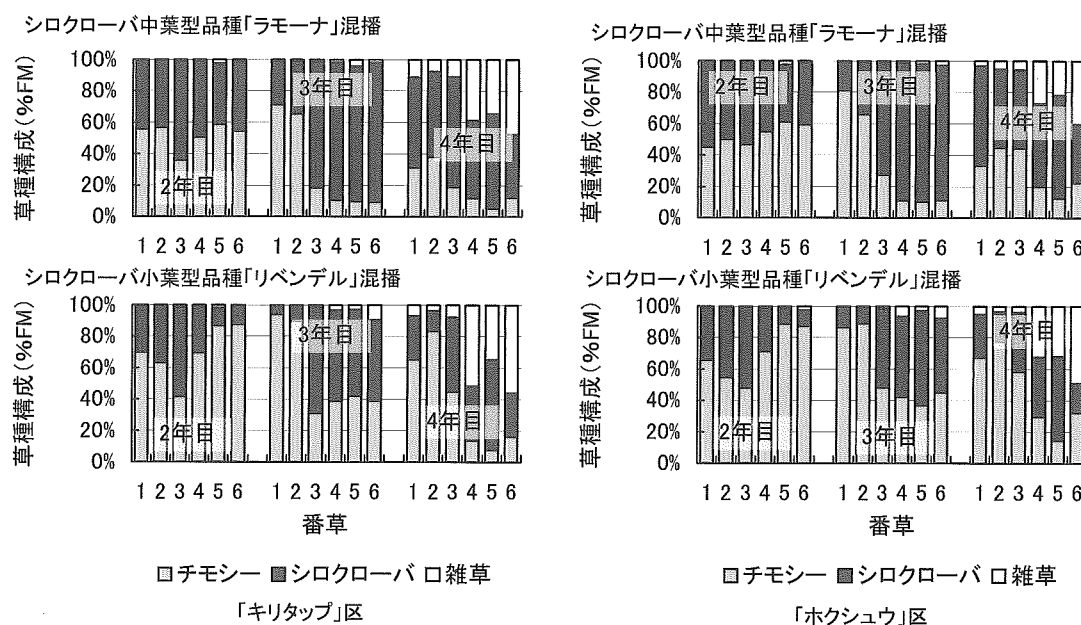
3) 多回刈りでチモシー草地を利用する場合の適正な混播組合せ

チモシー主体草地ではシロクロバ収量がチモシー収量を上回る組合せは適切とはいえない。そのため、本試験の結果から、シロクロバは「リベンデル」などの小葉型品種を選定することが望ましく、チモシーは供試した2品種のなかでは、「キリタツプ」より「ホクシュウ」が適していると推察された。

表V-1-1. 年次別の合計乾物収量^a

チモシー品種	シロクローバ品種 ^b	2年目(1998年)			3年目(1999年)		
		チモシー	シロクローバ	合計	チモシー	シロクローバ	合計
「キリタツプ」	小葉型「リベンデル」	42.6	14.8	57.3	44.6	25.6	70.2
〃	中葉型「ラモーナ」	36.5	23.7	60.2	28.1	42.1	70.2
「ホクシュウ」	小葉型「リベンデル」	43.6	16.0	59.6	42.6	21.5	64.1
〃	中葉型「ラモーナ」	38.7	23.4	62.1	28.6	39.7	68.3
LSD(5%)		4.49	3.14	4.19	7.36	5.71	n.s.
チモシー品種	シロクローバ品種	4年目(2000年)			3か年合計		
		チモシー	シロクローバ	合計	チモシー	シロクローバ	合計
「キリタツプ」	小葉型「リベンデル」	23.8	18.1	42.0	111.0	58.5	169.5
〃	中葉型「ラモーナ」	12.6	30.1	42.8	77.2	95.9	173.2
「ホクシュウ」	小葉型「リベンデル」	32.6	18.3	50.9	118.7	55.9	174.6
〃	中葉型「ラモーナ」	23.4	29.3	52.6	90.6	92.4	183.0
LSD(5%)		10.06	10.54	5.65	16.94	14.05	11.80

^akg/a, 雑草は含まない.

^b小葉型:小葉型品種, 中葉型:中葉型品種.


図V-1-1. 多回刈り条件下においてシロクローバ品種の違いがチモシー・シロクローバ混播草地における草種構成の推移に及ぼす影響.

2年目は1998年, 3年目は1999年, 4年目は2000年.

(2) 草種構成の季節変化

各番草の草種構成(図V-1-1)をみると,「ラモーナ」混播区では,3年目3番草以降はイネ科(チモシー)率がおおよそ40%以下の低い値で推移した。これは,3年目3番草以降のシロクローバ率の増加と,4年目4番草以降の雑草の増加によるものであった。

他方,「リベンデル」を混播した区では,4年目3

番草まで,チモシー率は比較的高く維持された。しかし,4年目4番草以降は「ラモーナ」混播区と同様に,雑草の増加によりチモシー率は低下した。雑草率は,4年目4番草(7月に生育)以降,おおよそ20-60%まで増加した。4番草以降の雑草率は「ホクシュウ」区より「キリタツプ」区で高く推移し,また「ラモーナ」区より「リベンデル」区で高く推移した。

(3) 4年目越冬前の冠部被度

4年目越冬前11月1日における冠部被度(図V-1-2)をみると、チモシーの被度は「ラモーナ」区より「リベンデル」区が高く維持された。「キリタツ」区では、4年間利用した結果、雑草の冠部被度が33-37%と「ホクシュウ」区の17-19%より高くなった。

(4) 茎葉の季節生産性

図V-1-3に「キリタツ」または「ホクシュウ」と「リベンデル」または「ラモーナ」を混播した区の月別の乾物収量を示した。「キリタツ」区、「ホクシュウ」区とも、「リベンデル」混播区では、チモシー収量は「ラモーナ」区と同程度または高く推移した。とりわけ3年目(1999年)は、「ラモーナ」区のシロクロバ収量が6月以降高く7月以降はチモシーの生産を抑圧した。

2. チモシーの密度維持を図る適切な混播相手マメ科品種選定の効果

表V-1-1, 図V-1-1, V-1-2, V-1-3から、シロクロバは中葉型品種より小葉型品種を混播した方がチモシーの被度、構成割合、乾物収量は経年的に高く維持された。このことから、チモシーの混播相手としてより適切な品種(ここでは中葉型品種よりも草勢が穏やかな小葉型品種)を選定することは、チモシーの密度維持対策の一つとして有効であることが示された。

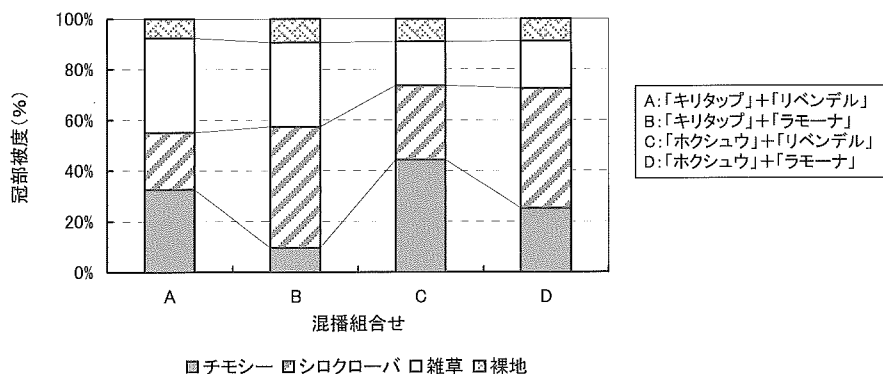
なお、多回利用を行うチモシー草地では播種後4年目の夏までに限り、良好な草種構成での放牧利用が可能と考えられた(図V-1-1)。近年、放牧地向けとして、従来の小葉型品種よりさらに小葉サイズが小さ

く、草勢の穏やかな品種も育成されており[135]、今後、本試験で供試した「リベンデル」よりもさらに草勢が穏やかな品種の利用がチモシーの経年的な密度維持のために期待される。

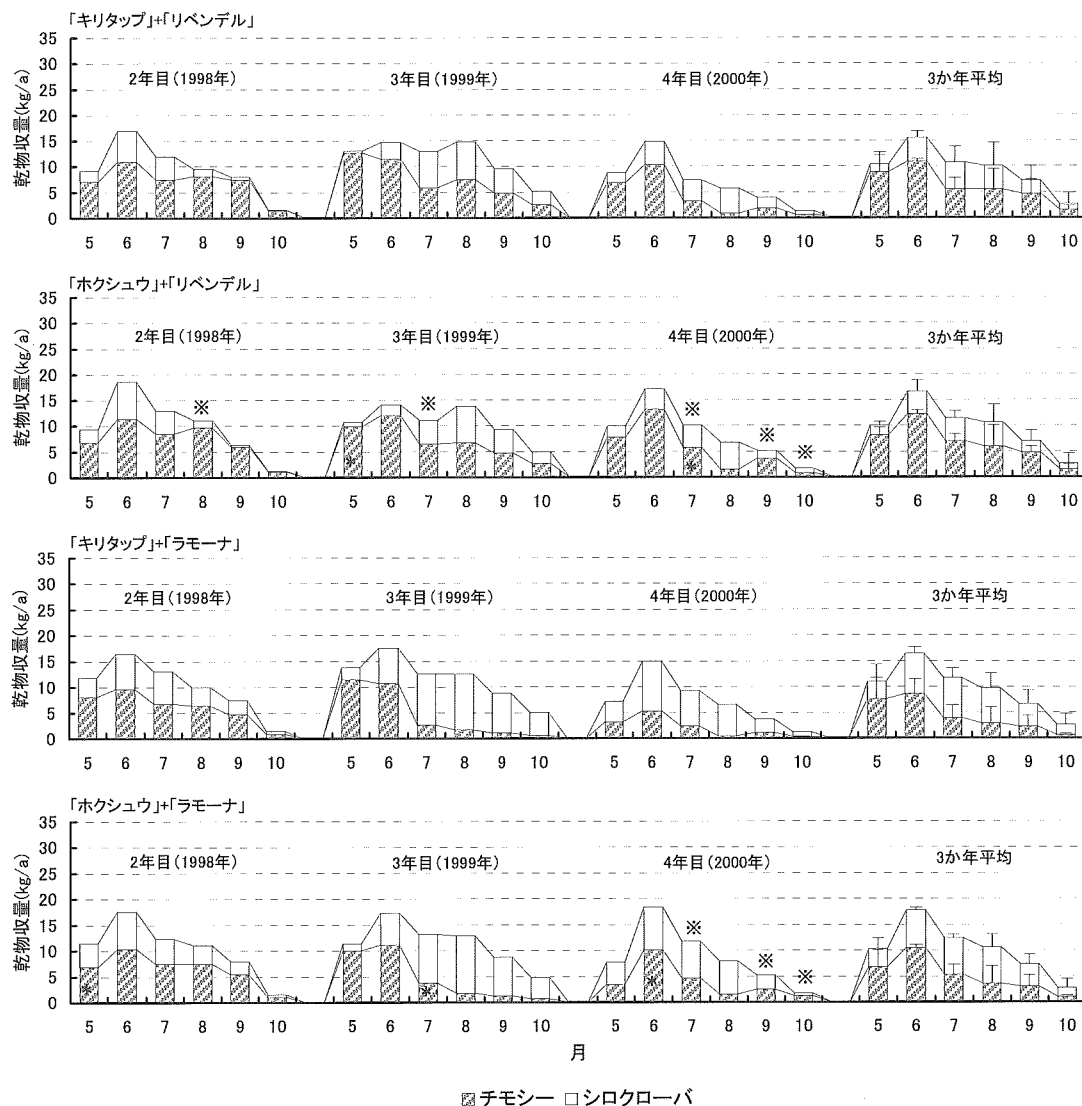
3. 放牧用チモシー品種に求められる特性

表V-1-1でみたように、チモシーは「リベンデル」と混播すると、その収量は4年目までシロクロバ収量を下回ることとはなく、現状では適当な組合せと思われるが、「ラモーナ」混播に比べ、雑草の混入量が高くなる傾向にあった(図V-1-1)。主な雑草はケンタッキーブルーグラスであった。しかし、同草種を混生するようになると、草地診断における草地類型は「優良草地」から「一般水準草地」ないし「不良草地」に移行する[105]。また雑草やその種類組成は草地更新の指標の一つである[34, 105]。したがって、チモシーの品種は雑草の侵入を減らすためにも、「ラモーナ」程度の草勢のシロクロバと混播して、収量がシロクロバ収量より高く維持されるような草勢を備えていることが望ましいと考えられた。

また、放牧草地では草の現存量が15kg/a以下では「やや不足」、8kg/a以下では「かなり不足」とされている[3]。イネ科牧草とシロクロバの合計収量をみると、チモシー草地は6月を除いて「やや不足」であり、9, 10月は「かなり不足」となった(図V-1-3)。したがって、季節生産性の平準化を図るためには、とくに7月以降のチモシー品種の再生力および生産力の強化が望ましい。



図V-1-2. 4年目越冬前(2000年11月1日)における冠部被度



図V-1-3. 多回刈り条件下におけるチモシー・シロクロローバ混播草地の月別乾物収量。

雑草は除く。各番草の日乾物重増加速度（1番草生育日数は萌芽期を起点とした）から求めた。10月は刈取り日までの収量である。各年次の月別のチモシー収量ならびにチモシーとシロクロローバとの合計収量は、混播したシロクロローバの品種ごとにて、「ホクシュウ」区と「キリタツプ」区に有意差が認められた場合にそれぞれ＊，※を、「ホクシュウ」区の図中に示した。3か年平均の各月のチモシー収量ならびにチモシーとシロクロローバとの合計収量の棒グラフ上に年次間の標準偏差（縦棒）示した。

小 括

チモシー・シロクロローバ混播草地では、利用頻度が高くなるほどチモシーの密度は低下する。そこで、チモシーの密度維持対策の一つとして、草勢のより穏やかなシロクロローバ品種の混播がチモシーの密度低下を軽減する効果について、とくに多回刈り条件下において検討した。その結果、シロクロローバ中葉型品種と比べ、小葉型品種を混播すると、チモシーの被度、構

成割合、乾物収量は経年的に高く維持された。このことから、チモシーの混播相手としてより適切な品種の選定を行うことは、チモシーの密度維持対策の一つとして有効であることが示された。チモシーの混播相手品種として「リベンデル」のようなシロクロローバ小葉型品種が適していると考えられた。なお、小葉型品種の混播は、「ラモーナ」のような中葉型品種を混播した場合と比較して、雑草率が高くなった。そのほか、シロクロローバ混播・多回刈り条件では、チモシー品種

は「キリタツプ」より「ホクシュウ」の永続性が高いことが示唆された。

第2節 チモシー品種の競争力の選抜改良

チモシーは他草種に対する競争力が不十分なことが栽培利用上の問題となることが多い。一般に、イネ科牧草は、マメ科牧草との混播で利用されることが多いため、混播栽培で適正な混生割合が長期間持続することが品種に求められる重要特性となる。競争力が不十分なチモシーでは、とくに混播相手草種・品種による生育の過度な抑制と、それによる分けつ密度の低下が問題となりやすい。混播条件における草種間の相対的な優占の程度は、利用方法などの栽培条件によって変化し(第IV章第2節)、同じ草種内でも品種間に大きな変異が存在する[64, 165]。本章第1節では、混播相手として、より適した品種の選定が、チモシーの分けつ密度維持に効果的であることの一例を示した。本節では、チモシーの競争力の選抜改良による分けつ密度維持対策について検討する。

第1項 長草(採草)利用条件下におけるチモシーの競争力の変異と分けつ構成内容との関係

本項では、とくに草丈を長く伸ばして利用する条件(採草利用の条件)下において、草種間の競争力に優れるチモシー個体の選抜を試み、競争力に優れる個体の特徴を明らかにすることを目的として、オーチャードグラスとの混播条件下でチモシーの生育反応の個体間での比較を行った。

材料と方法

試験は北見農業試験場圃場(北海道常呂郡訓子府町)で実施した。供試材料は、チモシーの早生の多交配後代28系統、早生3品種(「ノサップ」, 「オーロラ」, 「ホライズン」), 早生2系統(「北系04306」, 「北見26号」), 極早生品種「クンプウ」の合計34品種・系統とした。チモシー品種・系統を2009年5月22日にガラス温室で播種し、育苗した苗を、同年7月9日に圃場において、畦間75cmで移植した。株間は60cmとした。圃場の最外周の1個体を周縁個体とした。なお極早生の「クンプウ」は、早生の品種・系統と比べ、草勢がより強いマメ科牧草との混播が可能であり、チモシー品種の中では競争力が高いことから参考品種と

して供試した。供試個体数は、周縁個体を除き、「クンプウ」が38個体、早生の品種・系統は合計722個体であった。1品種・系統当たりの供試個体数は、2系統が5個体、その他の品種・系統は15-38個体であった。また、チモシー(TY)の畦と畦の間に、オーチャードグラス(OG)極晩生品種「トヨミドリ」を条播で播種(播種量200g/a, OGの畦間75cm)した。

各年次の刈取りは、フレールモアにより1年目(移植年, 2009年)は、2回(実施日: 9月2日, 10月19日), 2年目(2010年)は3回(6月25日, 8月17日, 9月26日), 3年目(2011年)は2回(6月28日, 9月26日)行った。刈取高は地際より10cmとした。

生育調査を造成年(2009年)から移植後3年目(2011年)にかけて行った。調査項目は、越冬性および草勢(極不良1-極良9), 葉幅(極狭1-極広9), 自然草高(cm), 出穂始期(月/日), 個体(株)当たり分けつ数(無0, 極少1-極多9), 個体当たり再生茎率(%), 株の広がり(極小1-極大9)とした。生育の個体間変異の分析は、早生の品種・系統を主体に行い、極早生品種の成績は参考データとして用いた。

そのほか、各番草の生育期間中において、試験圃場内部の生育が中庸な5-10か所を選定し、OGとTYの畦間の各草高における照度(lux)を測定し(デジタル照度計ANA-F10, 東京光電株式会社), その平均値から相対照度を求めた。

結果と考察

1. OG混播条件下におけるTYの生育経過と受光環境

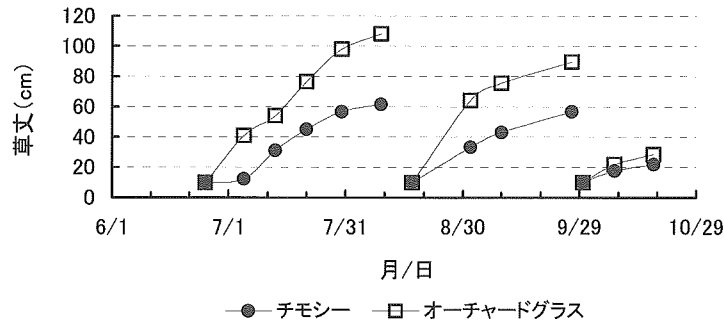
図V-2-1に、OG混播条件下におけるTYの2年目各季節における生育状況を示した。また、図V-2-2に2番草以降の各番草(再生草)におけるOGとTY「ノサップ」の草丈の推移を示した。2年目の5月は、OGと比べTYの茎葉の伸長程度は良好であった(図V-2-1(a-1))。6月に入って分けつの節間伸長が旺盛になると、OG, TYとも草高が急激に上昇した(図V-2-1(a-2))。そして、6月下旬の1番草刈取期におけるTYの草高は、OGよりやや低くなった(図V-2-1(a-3))。1番草刈取後(7月)は、OGでは速やかに新葉の再生が認められ、草丈も刈取直後から伸長が認められたのに対し、TYの新葉の再生はOGより明らかに遅かった(図V-2-1(b-1), 図V-2-2)。また、2番草と3番草の再生草量は、OGがTYより明らかに多かった(図V-2-1(b), 図V-2-1(c))。



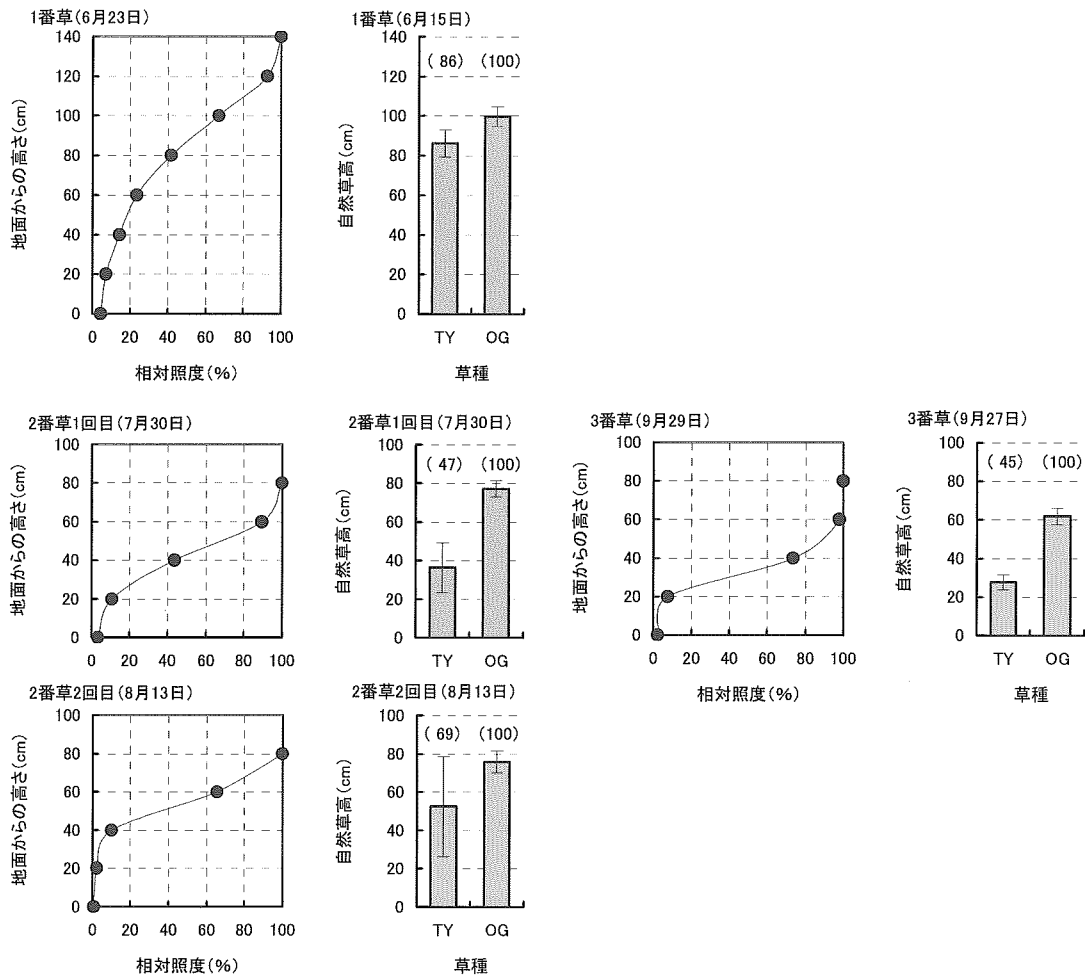
図V-2-1. オーチャードグラス混播条件下におけるチモシーの生育.

造成後2年目(2010年). TY:チモシー, OG:オーチャードグラス.

刈取月日は1番草6月25日, 2番草8月17日, 3番草9月29日.



図V-2-2. チモシーとオーチャードグラスの再生草（2，3番草，越冬前）における草丈の経時的推移。
チモシーは早生品種「ノサップ」の任意に選定した再生個体20個体，オーチャードグラスは圃場内で生育中庸な任意の20か所を測定した。刈取月日は1番草6月25日，2番草8月17日，3番草9月30日。



図V-2-3. チモシーとオーチャードグラスの混播栽培における畦間の相対照度と自然草高。

自然草高はTYはチモシー「ノサップ」（個体植），OGはオーチャードグラス「トヨミドリ」（条播）。6月23日の自然草高はOGが125cm，TYは倒伏発生のため調査無し。そのため相対照度は刈取直前（6月23日）の値であるが，自然草高は両草種ともに調査を行った6月15日の結果を示した。図中の縦棒は標準偏差。（ ）内はOGを100とする指数。なお6月23日のOGに対するTYの草高の比が6月15日と同じと仮定した場合，6月23日のTYの草高は108cmと推定される。刈取月日は1番草6月25日，2番草8月17日，3番草9月29日であった。

図V-2-3にTY・OG混播草地の各草高における相対照度の調査結果を示した。TYの草高は、とくに2番草以降は、OGより低くなった。TYの草冠部における相対照度は、1番刈時には80%程度であったが、2番草では生育中期（7月30日）において30-40%程度、刈取期（8月中旬）には50%程度、また3番刈時には20-30%程度であったと推察された。このことからTYはとくに2番草以降はOGと比べ光競争に不利であったと考えられた。また、とくに2番草ではTYの草高の個体間変異（変動係数）が1、3番草と比べて大きかった（図V-2-3）。

2. 個体当たり分けつ数の番草間の変化

（1）個体当たり分けつ数の番草間の相関

必要十分な分けつ密度の存在は、草地における牧草生産の基盤である。そこでまず、TYの個体当たり分けつ数の番草間の相関係数（表V-2-1）をみると、2年目の1番草以前の各番草と2番草以降の各番草との相関係数はいずれも値が小さかった。一方、2番草以降は3年目まで、番草間の相関係数はいずれも1番草以前と比べ明らかに高く推移した。このことから、個体当たり分けつ数の個体間変異は、とくに2年目1番草以前の各番草と2年目2番草以降の各番草との間において大きく変化したこと、一方で、2年目2番草以降の各番草間では大きな変化はなく経過したことが示唆された。

表V-2-1. オーチャードグラス混播条件下におけるチモシーの個体当たり分けつ数の相関（722個体）.

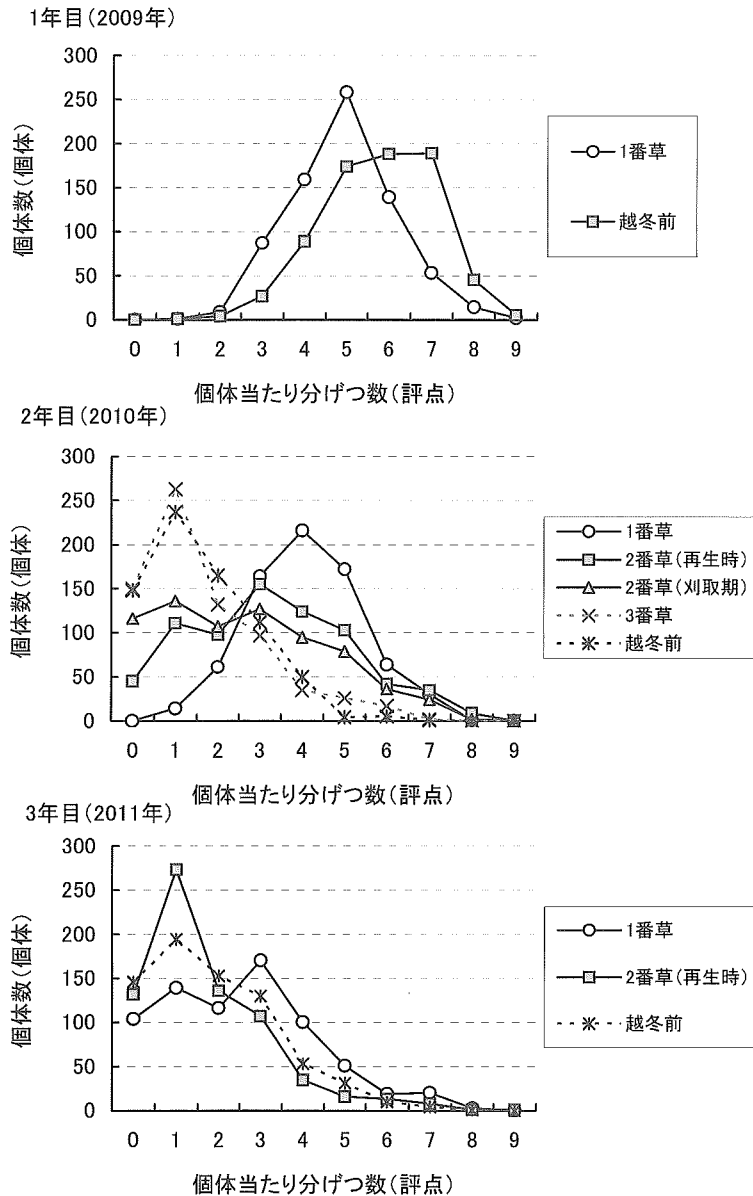
年次	調査時期	1年目(2009年)		2年目(2010年)				3年目(2011年)	
		1番草	2番草	1番草	2番草	3番草	越冬前	1番草	2番草
		刈取期 8月31日	刈取期 10月16日	刈取期 6月29日	刈取期 8月10日	9月1日	10月6日	早春 5月31日	再生時 7月22日
1年目	2番草	0.512							
2年目	1番草刈取期	0.483	0.479						
	2番草刈取期	0.133	0.306	0.342					
	3番草	0.011	0.218	0.165	0.674				
	越冬前	0.082	0.213	0.227	0.725	0.796			
3年目	1番草早春	0.057	0.222	0.228	0.710	0.794	0.832		
	2番草再生時	0.084	0.178	0.186	0.554	0.675	0.659	0.761	
	越冬前	0.122	0.190	0.236	0.564	0.622	0.643	0.735	0.830

0.500以上の相関係数に網掛けを付した。調査基準：無0、極少1-極多9。3年目越冬前の調査月日は10月4日。

（2）個体当たり分けつ数の頻度分布の番草間変化

そこで、供試個体の個体当たり分けつ数の番草間変化を見るため、図V-2-4に1-3年目の各番草における個体当たり分けつ数の各階級値（評点）に属する個体数（頻度分布）を示した。1年目から2年目の1番草までは個体数分布は正規分布に近く、また、分けつ数が評点0の個体（再生あるいは生存分けつの認められない個体：非再生個体≡枯死個体）は認められなかった。しかし2年目2番草では、分けつ数が少ない個体が増加し、再生時に非再生個体（分けつ数評点0の個体）が発生した。その後刈取期にかけて非再生個体

はさらに増加した。非再生個体の増加は、1番草刈取後から2番草刈取期にかけてが最も多かったが、3番草ならびに越冬前にかけて、非再生個体数ならびに分けつ数が極少（評点1）の個体数はさらに増加し、反対に分けつ数が評点4以上の個体数は減少した。その結果頻度分布はL字型に近くなった。なお3年目の頻度分布は2年目2番草刈取期以降の傾向が継続して認められた。これらのことは、とりわけ2年目の2番草から3番草にかけて、多くの個体で前番草刈取後に再生しない分けつ茎の割合が増加し、個体当たり分けつ数が減少したことを示していた。



図V-2-4. チモシーの個体当たり分けつ数における度数分布の季節変化.

分けつ数の調査基準：無0，極少1-極多9. 株（1個体）当たりの分けつ数. 供試個体数：722個体. オーチャードグラスを間作した条件下における結果.

3. OG 混播・採草利用条件下で分けつ数の減りにくい個体の生育特性

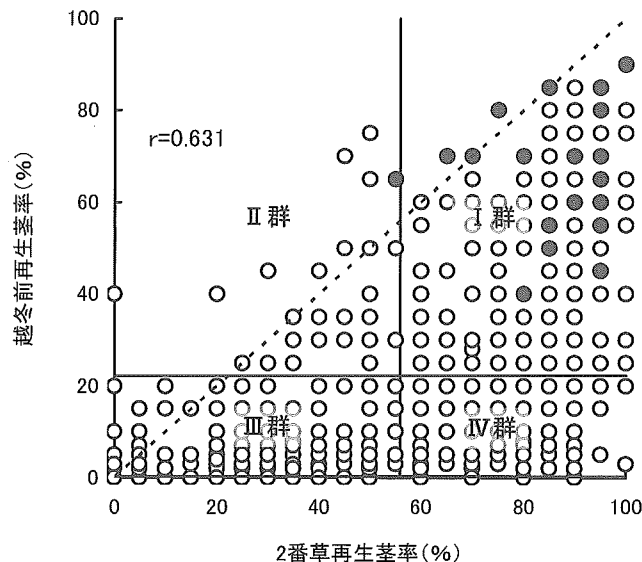
(1) 分けつ数の季節変化に基づく個体群の選抜

図V-2-4で見たように、OG混播条件下のTYの個体当たりの分けつ数は、2年目1番刈後の2番草から3番草、さらには越冬前にかけて、多くの個体でさらに減少した。そこで、個体当たりの分けつ数の減りやすい個体、減りにくい個体を区分するため、図V-2-5に2番刈時と越冬前における個体当たり再生茎率の関係を示した。両時期の個体当たり再生茎率には正の相

関($r=0.631$)が認められたことから、個体間変異の傾向は両時期間で大きな変化はなかったと推察された。しかし一方、多くの個体において、再生茎率は2番刈時と比べ越冬前にかけて低下した。各調査時期の再生茎率の供試個体の平均値（2番草 55.9%，越冬前 22.2%）によって、個体群をⅠ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳの4群に区分した。各群に含まれた個体数は、それぞれ239個体，43個体，267個体，164個体であった。Ⅰ群は越冬前まで再生分けつ数が相対的に多く維持された群、Ⅲ群は2番草、越冬前ともに再生分けつ数が少なかった

た群、II群は2番草では再生茎率が低かったが越冬前には相対的に高かった群、IV群は2番草では再生茎率が高かったが、越冬前には相対的に低くなった群であった。図V-2-4 および図V-2-5 から、OG混播条件下において、TYの個体当たり分けつ数やその季節変

化には個体間に大きな変異が認められることが明らかとなった。このことから、OGの混播によって、競争条件下において分けつ数が減少しにくいTY個体(採草利用条件下で競争に強い個体)を選抜できる可能性のあることが示唆された。



図V-2-5. 2年目2番草(8月)と越冬前(11月)における再生茎率の関係。

再生茎率(%)：個体の刈株全茎に対し再生した分けつ数の割合。図中の斜線は $y=x$ 。縦線は2番草の平均値55.9%，横線は越冬前の平均値22.2%を示す。同じ座標に複数個体が位置している場合もある。生育不良のため再生茎率の判定ができなかった9個体を除く713個体による散布図。塗りつぶしは選抜24個体(図V-2-6)の座標を示す。

(2) 分けつ数の季節変化との関連形質

分けつ数の減少しにくい個体がどのような生育特性を有しているか明らかにするため、これら4つの個体群の2年目の各番草の生育を所属する個体の平均値で表V-2-2に示した。

表V-2-2に示したように、1番草の各形質(越冬性、早春および刈取時の草勢、葉幅、草高、分けつ数、出穂始)は、いずれも4つの群間で大差が認められなかった。つまり2番草以降の再生茎率と1番草の分けつ数をはじめとする各形質との関連性は不明瞭であった。したがって、OG混播条件下におけるTYの2番草以降の生育の変異は、1番草の生育だけから予測することは困難であることが示唆された。

次に、2番草以降の各形質との関係をみると、再生茎率が2番草、越冬前とも相対的に高かったI群は、2番草、3番草ともに再生が良好で、分けつ数が多く、節間伸長茎割合と草高が高かった(表V-2-2)。こ

れに対して、再生茎率が2番草、越冬前ともに他の群と比べて少なかったIII群は、2、3番草ともに再生が不良で、分けつ数が少なく、節間伸長茎割合および草高が低かった。

一方、2番草では再生茎率が低かったが越冬前にはそれが相対的に高く維持されたII群は、2番草の再生や分けつ数はI群やIV群と比べて劣る傾向にあったが、節間伸長茎割合は2番草ではI群と大差がなく、3番草ではむしろI群より高い傾向を示し、草高は2、3番草ともI群に次いで高く、IV群より高かった。IV群は、I群と同様に、2番草では再生茎率が相対的に高かったにもかかわらず、越冬前の再生茎率は低下した(図V-2-5)。IV群は2番草の生育はいずれもI群よりやや劣ったものの、III群と比較すれば再生草勢、分けつ数ともにやや優れていた。しかし、2番草の節間伸長茎割合や草高はII群と比べやや劣る傾向にあった。また、3番草ではこれらいずれの形質ともI群、

II群と比べ劣っていた。

I群の特性、ならびにII群とIV群の関係から、OG混播条件下におけるTY個体の分けつ数が、2番草以降も越冬前にかけて維持される条件として、2, 3番草ともとくに節間伸長茎割合が高いこと、草高が高いこと、次いで再生時の草勢や再生分けつ数が良好であることが重要と考えられた。

なお3年目のI-IV群の生育は、各形質とも、2年目の3番草および越冬前の群間変異の傾向をそのまま維持していた（データ省略）。

以上のことから、OG混播条件下において競争力に優れるTYの遺伝子型を選抜するには、1番草の生育だけでなく、生育に大きな変異が表れる2年目2番草以降の生育を見て行う必要があると考えられた。

表V-2-2. 再生茎率で選抜（分類）した個体群の2年目の生育。

個体群	1番草						
	越冬性	早春草勢	葉幅	出穂始	草高	草勢	分けつ数
I群	4.8	4.2	5.9	18	86	5.5	4.2
II群	4.9	4.3	6.3	18	82	5.0	3.8
III群	4.3	4.1	5.7	18	82	4.8	3.9
IV群	4.8	4.7	5.7	18	86	5.3	4.3
調査日(月/日)	4/23	5/17	5/31	—	6/15	6/22	6/29

個体群	2番草					
	再生草勢	再生分けつ数	節間伸長茎割合	草高	草勢	分けつ数
I群	3.9	4.7	6.9	87	4.6	4.3
II群	2.4	2.8	6.7	79	2.7	2.1
III群	1.6	1.9	3.9	42	1.1	1.1
IV群	2.6	3.6	5.7	73	2.9	3.0
調査日(月/日)	7/13	7/22	8/6	8/13	8/9	8/10

個体群	3番草					越冬前		
	再生草勢	再生分けつ数	節間伸長茎割合	草高	草勢	再生分けつ数	株の広がり	草勢
I群	3.5	3.1	2.1	34	5.2	2.8	4.6	3.7
II群	2.3	1.8	3.0	32	3.6	2.0	3.6	2.7
III群	0.5	0.6	0.8	13	0.7	0.6	2.9	0.8
IV群	1.3	1.4	1.4	24	2.1	1.5	4.0	1.6
調査日(月/日)	9/1	9/1	9/28	9/27	9/27	10/6	10/8	10/15

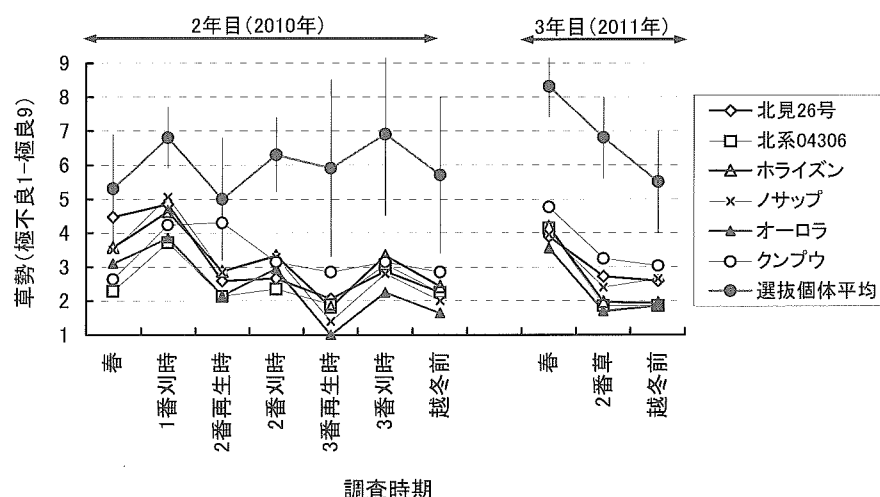
調査基準:越冬性, 草勢;再生無し0, 極不良1-極良9, 葉幅;極狭1-極広9, 出穂始;6月の日付, 草高;cm, 分けつ数(株当たり);無0, 極少1-極多9 (ただし1番草の分けつ数の調査は刈株について行った), 節間伸長茎割合;極低1-極多9, 株の広がり;極小1-極大9.

4. 採草利用条件下における高競争力個体の選抜と系統育成の可能性

3年目までの生育調査の結果から、以下の基準でTYの個体選抜を行った。

選抜基準: ①3年目秋までに枯死した個体あるいは分けつ数を著しく低下させた個体は除外。②枯死茎が少ない(分けつ数が減少しにくい=永続性が高い)個体のなかで、2, 3年目ともに主として再生草(2, 3番草)の生育(草勢, 分けつ数)が良好であった個体を選抜。③その上で、1番草の草勢が良好な個体を選抜。

これら選抜個体の2年目の再生茎率はいずれも高い群に属していた(図V-2-5)。また、選抜個体の各番草の草勢を示した図V-2-6から、これら選抜個体によって合成される系統は、採草利用条件下において、他草種に対する競争力が、既存の品種より優れることが期待されたと考えられた。



図V-2-6. オーチャードグラス混播条件下における3年目までの生育調査に基づき選抜した個体の各番草の草勢の個体平均値。

供試材料は早生33品種・系統722個体と極早生1品種(クンプウ)38個体。選抜個体は早生個体から選抜した24個体。対照とした品種・系統の個体平均値は3年目秋まで生存した個体による平均値。選抜個体平均に付した縦棒は個体間の標準偏差。図V-2-5に選抜個体の再生茎率を示した。

小 括

採草利用条件下で競争力に優れるチモシー品種の選抜改良に資するため、オーチャードグラスとの混播栽培条件下でチモシー個体の生育変異を調査した。その結果、オーチャードグラスとの混播により、チモシーの個体当たり分けつ数は2年目の1番草刈取後(2番草)において多くの個体で減少し、2番草以降において個体当たり分けつ数に大きな個体間変異が生じた。分けつ数を減少させにくい個体は、2, 3番草とも、節間伸長茎割合が高く、草高が高い特性を示し、次いで再生草勢や再生分けつ数が良好な特性を示す傾向にあった。チモシーをオーチャードグラスと混播栽培することにより、競争力に優れるチモシー個体の選抜と系統の育成が可能であることが示唆された。なお選抜は、1番草の生育だけでなく、とくに生育に大きな変異が表れる2年目2番草以降の生育に重点を置いて行う必要があると考えられた。

れている。放牧地では通常、シロクロバが主要なマメ科牧草となっている[32]。しかし、チモシー草地では年間の利用回数が多いほど、シロクロバが優占する傾向を示す。チモシーの放牧用品種には、シロクロバや経年化とともに侵入する雑草などの他草種との競争下において分けつ密度を低下させにくい特性が求められる。また、放牧期間を通じて生産力が高いことに加え、季節生産性が平準であることが望ましい。これまで、チモシーの国内流通品種の中では、晩生で茎数型の「ホクシュウ」が他の市販品種よりも放牧適性が良好とされている[130, 161]。

ここでは、多回利用条件下においてチモシー系統の生育に及ぼす草種間競争の影響を明らかにする。また、競争条件下における分けつ密度の低下程度の系統間変異と分けつ構成内容との関連性、ならびに多回利用条件下で競争力に優れる系統の育成の可能性について検討した。

材料と方法

第2項. 短草(多回)利用条件下におけるチモシーの競争力の変異と分けつ構成内容との関係

チモシーは越冬性に優れ、家畜の採食性が良好なことから、道東の土壤凍結地帯を中心に放牧でも利用さ

試験は根釧農業試験場圃場で実施した。供試材料は、北見農業試験場圃場で選抜された中・晩生の54栄養系の多交配後代54系統ならびに標準品種「ホクシュウ」とした。単播試験区(以下単播区)と混播試験区(シ

シロクロバ中葉型品種「ソーニャ」を混播，以下混播区）を設置した。播種法は条播（畦長 1.0m，畦間 60cm），畦数は 1 区 1 畦，1 試験区面積は 0.6m²とした。a 当たりの播種量はチモシーが 80g，シロクロバは 30g とした。混播区におけるシロクロバは，チモシーの畦間に散播した。播種期は 1999 年 6 月 1 日であった。

生育調査は播種後 2 年目（2000 年）に行った。調査年（播種後 2 年目）の年間刈取回数は 6 回，刈取月日は 5 月 29 日，6 月 12 日，6 月 27 日，7 月 28 日，8 月 28 日および 9 月 29 日であった。刈取りは芝刈り機により刈取高 7.5cm で行った。

調査形質は，各番草の草丈（cm），分げつ数（極少 1-極多 9），草勢（極不良 1-極良 9），欠株率（%），節間伸長茎割合（無または極少 1-極多 9），出穂茎割合（節間伸長茎割合と同様），越冬性（極不良 1-極良 9），草型（直立 1-匍匐 9）とした。解析用のデータはいずれも 3 反復の平均値を用いた。また，各番草刈取後の再生分げつの形態を経時的に観察，記録した。

結 果

1. 多回刈り条件下におけるチモシーの生育の単播区と混播区の違い

(1) 各形質の単播区と混播区の相関

表 V-2-3 に各番草の草丈，分げつ数および草勢の単播区と混播区の相関を示した。4 番刈時以降は，それ以前と比べ各形質とも相関係数の絶対値は小さくなった。また，草丈は 4 番草刈取時において，分げつ数は 4 番刈時から 6 番草再生時にかけて，また草勢は 4 番刈時から 5 番刈時にかけて，相関は有意ではなかつ

た。

(2) 草丈の推移

図 V-2-7 に供試系統の単播区および混播区における草丈の平均値と標準偏差を示した。チモシーの草丈は 1, 2 番草では単播区と比べ混播区はやや低い傾向にあった。一方，3, 4, 6 番草では両区で大差なく，5 番草では混播区が単播区より高かった。チモシー草丈の系統間の変動係数は，単播区，混播区とも年間を通して 10%以下であった（データ省略）。また，混播区のシロクロバの草丈は，各番草ともチモシーより低かった（データ省略）。

(3) 分げつ数の推移

図 V-2-8 に供試系統の単播区および混播区における分げつ数の推移とその系統間の変動係数を示した。

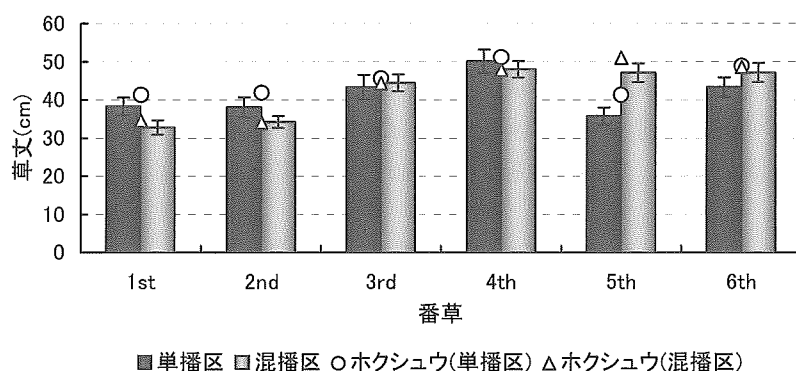
単播区に分げつ数は刈取後の再生時に一時的に減少する系統が多かった。しかし，各番草刈取時の分げつ数は越冬前（10 月）にかけて，高く維持された。これに対して混播区に分げつ数は，3 番草刈取後の 4 番草再生時に顕著な減少が認められ，その後越冬前にかけてやや増加する傾向を示したものの，多くの系統では 3 番草以前と比べ，低い分げつ数のままで推移した。

単播区に分げつ数の系統間の変動係数は，年間を通して 20%以下で推移し，秋にかけて約 5%程度まで低下した（図 V-2-8）。つまり，系統間差の判別が難しくなった。一方混播区の変動係数は，3 番草刈取後の 4 番草再生時には約 40%まで増大し，4 番草刈取後も秋まで 20%以上で推移した。したがって 7 月以降は系統間差が拡大した。

表 V-2-3. 草丈，分げつ数および草勢の処理区（単播区および混播区）間の相関。

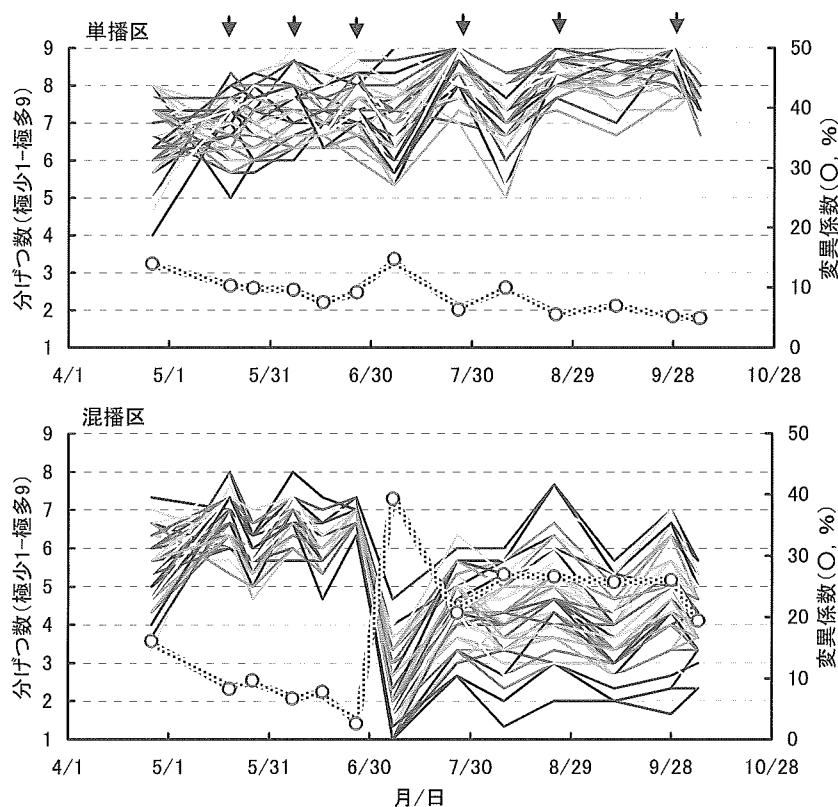
形質	1番草		2番草		3番草		4番草	
	早春	刈取時	再生時	刈取時	再生時	刈取時	再生時	刈取時
草丈	—	0.548**	—	0.599**	—	0.469**	—	-0.044
分げつ数	0.599**	0.350*	—	0.597**	0.677**	0.297*	0.660**	-0.069
草勢	0.403**	0.422**	—	0.656**	—	0.606**	0.729**	0.226
形質	5番草		6番草		晩秋			
	再生時	刈取時	再生時	刈取時				
草丈	—	0.349*	—	0.390**	—			
分げつ数	0.030	0.154	0.138	0.275*	0.338*			
草勢	0.094	0.038	0.278*	0.426**	0.449**			

単播区，混播区で共通に供試された 53 品種・系統による単相関係数 (n=53)。草丈；cm，分げつ数；極少 1-極多 9 (評点)，草勢；極不良 1-極良 9 (評点)。—は未調査。「再生時」は前番草刈取後 7-11 日目。*，**はそれぞれ 5%，1% 水準で有意であることを示す。



図V-2-7. 単播区および混播区におけるチモシー供試系統の各番草の草丈.

供試系統の平均値±標準偏差（縦棒）. 算出に用いた供試系統数は「ホクシュウ」を除いて単播区 n=52, 混播区 n=54. 混播区におけるシロクロバは中葉型品種「ラモーナ」.



図V-2-8. 単播区と混播区における供試系統の分げつ数およびその変異係数の推移.

矢印は刈取り時期で両試験区に共通. 変異係数は品種・系統間の変動係数.

(4) 欠株の発生

混播区では4番草(7月)以降は再生分げつ数が減少し(図V-2-8), 多くの系統で畦の一部がシロクロバに被覆されるようになり, 系統によってはシロ

クロバの匍匐茎が畦内に密に侵入し, 枯死株も認められた. 表V-2-4に供試品種・系統の単播区と混播区における5番草(8月)と晩秋(10月)の欠株率を示した. 混播区の欠株率は, 夏季(8月9日)におい

て、最大で70%、最小で1%であった。一方、単播区の欠株率は、晩秋(10月16日)においても、最大で1%以下と、単播区では多回刈りしても欠株の発生はほとんど認められなかった(表V-2-4)。

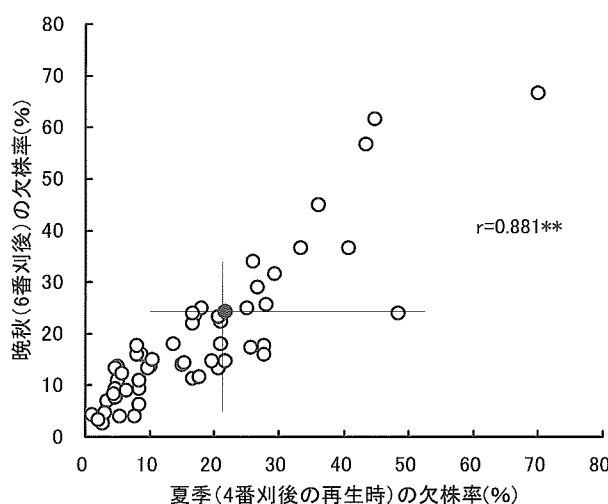
混播区における夏季(8月9日)の欠株率は、晩秋(10月16日)の欠株率と高い正の相関($r=0.881^{**}$)を示した(図V-2-9)。したがって、チモシーをシ

ロクロバと混播栽培した場合、チモシーの欠株は夏季(7月頃)に発生しやすく、夏季以降は系統により増減に違いが認められたものの、多くの系統において夏季に発生した欠株率が越冬前にかけて大きく変化することはなかった(図V-2-9)。なお供試系統の中には「ホクシュウ」より欠株率の低い系統が多数認められた(図V-2-9)。

表V-2-4. 単播区および混播区における欠株率^a。

試験区	夏季(8月9日)				晩秋(10月16日)			
	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
単播区	2.0	4.8	28.3	0.0	0.0	0.1	0.7	0.0
混播区	17.6	13.9	70.0	1.0	19.1	13.8	66.7	3.3

^a%。単播区は $n=53$ 、混播区は $n=55$ 。夏季は4番刈後、晩秋は6番刈後。



図V-2-9. 混播区における供試品種・系統の夏季および晩秋の欠株率。

調査月日：夏季8月9日、晩秋10月16日。3反復の平均値。●は「ホクシュウ」。

**は1%水準で有意。最小有意差(有意水準5%)は8月9日が21.6%、10月16日が26.5%。

2. 混播区における欠株率と単播区における季節生産性との関係

表V-2-5に単播区の各番草および晩秋の草勢の計7形質の相関行列による主成分分析の結果を示した。第1主成分は、各番草および晩秋ともに主成分係数が正で高い値を示したことから、年間を通した生育の良否を示す主成分であった(固有値3.32、寄与率47.5%)。第2主成分は、主成分係数が1-3番草では正、5番草を除いて4、6番草および晩秋では負の値を示したことから、1-3番草(春-6月)の生育は良好であるが4番草-晩秋(7月以降)では生育が不良な系統

群と、その反対の性質の系統群とを区分する主成分であった(固有値1.49、寄与率21.2%)。

図V-2-10に単播区の草勢(第1主成分および第2主成分スコア)と混播区の欠株率との関係を示した。第1主成分、第2主成分スコアと混播区の欠株率との間には、一定の関係は認められなかった。例えば、「欠株率低」の系統群(18系統)をみると、座標は任意に散布していた。このことから、混播区で欠株率が低くても、単播区では生育が不良な系統も認められた。つまり混播区の欠株率だけに基づいてこの18系統を選抜しても、その単播区における生育(生産力)は必ず

しも優れているとは限らないと考えられた。

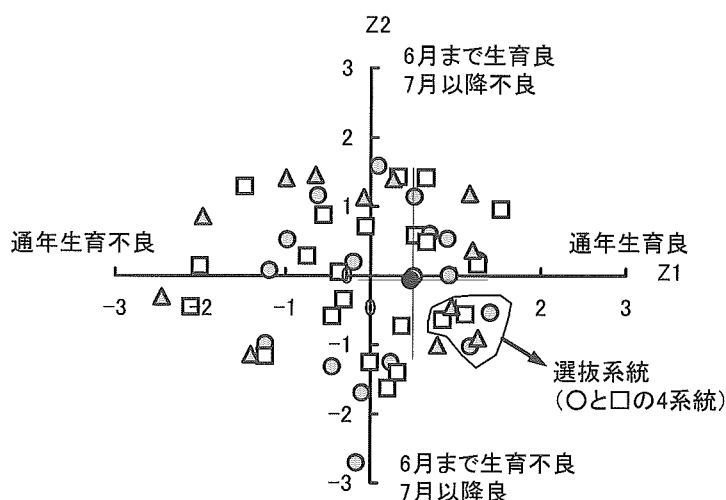
なお、供試系統の中には、欠株率が低く、かつ単播区の生育が「ホクシュウ」より優れる系統も認められ

た（図V-2-10）。したがって、混播区で欠株率が低く、かつ単播区での生育が良好な系統の選抜は可能であることが示唆された。

表V-2-5. 単播区における各番草の草勢による主成分分析結果.

調査時期	調査月日 (月/日)	主成分係数	
		第1主成分	第2主成分
1番草	5/25	0.336	0.489
2番草	6/7	0.395	0.501
3番草	6/24	0.321	0.203
4番草	7/26	0.356	-0.395
5番草	8/25	0.417	0.073
6番草	9/27	0.404	-0.411
晩秋	11/1	0.406	-0.372
固有値		3.32	1.49
寄与率(%)		47.5	21.2

相関行列に基づく. n=53.



図V-2-10. 混播区における欠株率と単播区における生育（草勢）との関係.

単播区における7形質（1-6番草および晩秋の草勢）の相関行列による主成分分析. 第1（Z1）および第2（Z2）主成分スコアによる散布図（n=53）。●は「ホクシュウ」。固有値は第1主成分が3.32，第2主成分が1.49，寄与率はそれぞれ47.5%，21.2%。○：欠株率低（<10%），□：欠株率中，△：欠株率高（≥25%）に分類された系統。欠株率は夏期と晩秋の2回の平均値。選抜系統：混播区における欠株率が低く，単播区における生育も良好であった系統。

3. 混播区における欠株率と単播区における諸形質との関係

表V-2-6に単播区の各番草における供試53系統の諸形質の調査結果（系統平均値±標準偏差）を示した。

表V-2-7に混播区の欠株率と単播区の諸形質（表V-2-6）との相関係数を示した。草丈は，早春と2番刈時に正，4番刈時に負の有意な相関が認められた。

分けつ数は，2番刈時から4番草の再生時にかけて，いずれも負で有意な相関を示し，とくに3番草から4番草再生時にかけて-0.419**から-0.594**の比較的高い相関を示した。草勢は，3番刈時と4番草再生時にそれぞれ-0.318*と-0.590**の有意な相関を示した。伸長茎割合は，2番草では0.341*，3番草では0.293*，出穂茎の多少は4番草で-0.520**といずれも有意な相関が認められた。なお4番草で草丈と出穂茎の多少は

いずれも欠株率との間に類似した相関関係を示した。
また、4番草で出穂茎が多かった系統は、4番草の草丈
が高い傾向にあった(両形質の相関係数は0.620**)。
そのほか、草型は、3番刈時において有意な相関を示
し、直立型であるほど欠株率が高い傾向にあった。

以上のことから、2番草から4番草までの分けつ数、
草勢、伸長茎や出穂茎のような生殖生長茎の発生程度
が混播区の欠株率ととくに重要な関係にあることが示
唆された。

表V-2-6. 単播区における諸形質の系統平均値±標準偏差^a.

形質 ^b	調査時期 ^c							
	越冬後	1番草		2番草	3番草		4番草	
	早春	刈取時		刈取時	再生時	刈取時	再生時	刈取時
	4月下旬	5月中旬	5月下旬	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬	7月下旬
越冬性	6.6±0.9 (7.3)	—	—	—	—	—	—	—
草丈	—	23±2 (27)	38±2 (41)	38±3 (42)	—	43±3 (46)	—	50±3 (51)
分けつ数	—	7.1±0.7 (6.3)	7.1±0.7 (6.3)	7.5±0.7 (6.7)	7.2±0.5 (6.7)	7.5±0.7 (7.0)	6.9±1.0 (5.3)	8.6±0.5 (7.3)
草勢	—	6.6±1.0 (6.3)	6.6±0.9 (7.0)	7.3±0.8 (7.3)	—	7.4±0.8 (8.3)	5.2±1.5 (5.3)	7.6±0.9 (7.0)
節間伸長茎割合	—	—	—	3.9±0.8 (4.3)	—	7.1±1.3 (8.0)	—	—
出穂茎の多少	—	—	—	—	—	—	—	3.2±1.1 (4.0)
草型	—	—	—	—	—	4.2±1.0 (4.0)	—	—

形質 ^b	調査時期 ^c				
	5番草		6番草		晩秋
	再生時	刈取時	再生時	刈取時	
	8月上旬	8月下旬	9月中旬	9月下旬	10月-11月
越冬性	—	—	—	—	—
草丈	—	36±2 (41)	—	43±3 (49)	—
分けつ数	7.2±0.7 (6.7)	8.5±0.5 (8.0)	8.4±0.6 (8.0)	8.6±0.5 (8.7)	7.7±0.4 (6.7)
草勢	6.5±1.2 (6.3)	8.2±0.7 (7.7)	7.5±0.8 (7.7)	8.0±0.6 (8.3)	6.7±0.6 (7.7)
節間伸長茎割合	—	—	—	—	—
出穂茎の多少	—	—	—	—	—
草型	—	—	—	—	—

^a供試品種・系統数は53(標準品種「ホクシユウ」を含む)。()内は標準品種「ホクシユウ」の値。

^b調査基準:越冬性;草勢;極不良1—極多9(評点)。草丈;cm, 分けつ数;極少1—極多9(評点), 節間伸長茎割合, 出穂茎の多少;無または極少1—極多9(評点), 草型;直立1—匍匐9(評点)。—は未調査。

^c「再生時」は前番草刈取後7-11日目。

表V-2-7. 混播区における欠株率と単播区における諸形質との相関^a.

形質 ^b	調査時期 ^c							
	越冬後	1番草		2番草	3番草		4番草	
		早春	刈取時	刈取時	再生時	刈取時	再生時	刈取時
		4月下旬	5月中旬	5月下旬	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月上旬
越冬性	0.067	—	—	—	—	—	—	—
草丈	—	0.289*	0.195	0.281*	—	-0.189	—	-0.483**
分けつ数	—	-0.126	-0.073	-0.310*	-0.471**	-0.419**	-0.594**	0.176
草勢	—	0.082	0.106	0.193	—	-0.318*	-0.590**	-0.191
節間伸長茎割合	—	—	—	0.341*	—	0.293*	—	—
出穂茎の多少	—	—	—	—	—	—	—	-0.520**
草型	—	—	—	—	—	-0.384**	—	—

形質 ^b	調査時期 ^c				
	5番草		6番草		晩秋
	再生時	刈取時	再生時	刈取時	
	8月上旬	8月下旬	9月中旬	9月下旬	
越冬性	—	—	—	—	—
草丈	—	0.071	—	0.097	—
分けつ数	0.076	-0.101	-0.057	-0.113	-0.268
草勢	0.208	0.040	-0.217	-0.201	-0.243
節間伸長茎割合	—	—	—	—	—
出穂茎の多少	—	—	—	—	—
草型	—	—	—	—	—

^a単相関係数(n=53). *, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す. 欠株率は夏季と晩秋の平均値を用いた.^b調査基準:越冬性;草勢;極不良1—極良9(評点). 草丈;cm, 分けつ数;極少1—極多9(評点), 節間伸長茎割合, 出穂茎の多少;無または極少1—極多9(評点), 草型;直立1—匍匐9(評点). —は未調査.^c「再生時」は前番草刈取後7-11日目.

4. 混播区における欠株率と単播区における生殖生長茎発生程度との関係

単播区における2, 3番草の伸長茎割合, 4番草の出穂茎の多少の相関行列を用いて主成分分析を行ったところ, 生殖生長茎割合の指標となる総合特性値(第1主成分)を抽出できた. 図V-2-11にその第1主成分スコアと欠株率との関係を示した. 両変数間には有意な相関係数($r=0.439^{**}$)が認められた. 「ホクシュウ」を中心に系統を群(I, III, III, IV群)に分けてみると, とくに2, 3番草で伸長茎が多い系統の中に欠株率の高い系統が多く認められる傾向にあった(I群). 一方2, 3番草で「ホクシュウ」より伸長茎が多くても, 欠株率の低い系統も認められた(IV群).

考 察

1. シロクローバの混播に対する生育反応

本実験の結果, 各番草の草丈には単播区と混播区で明確な差異は必ずしも認められなかった(図V-2-7). 一方, 分けつ数の季節推移には単播区と混播区で大きな差異が認められ(図V-2-8), 7月(4番草)

以降は混播区では多くの系統で枯死株が発生し, 8月以降は欠株率に大きな品種・系統間変異が認められた(表V-2-4, 図V-2-9). ところが単播区では年間6回程度の多回刈りでは, 欠株の発生はあっても一時的で(表V-2-4), いずれの供試系統とも秋にかけて分けつ密度の低下は認められず, 分けつ密度が生産力に影響を及ぼすような品種・系統間変異は生じなかった.

このことから, 多回刈り条件下で認められるチモシーの分けつ密度の低下は, 草種間競争に起因したことは明らかであった. また, 両区の分けつ数が4番草以降6番草再生時にかけて相関が認められなかったこと(表V-2-3)はこのためであったと考えられた.

2. 多回刈り条件における競争力の変異と分けつ構成内容との関係

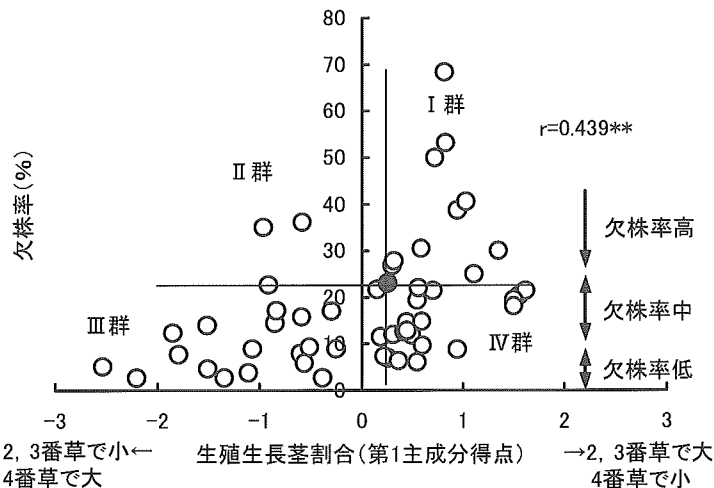
一方, 混播区における欠株率と単播区の各番草の諸形質との相関関係の検討から, 混播区で欠株の少ない系統は, 2, 3番草で分けつ数が多く, 伸長茎割合の少ない(つまり栄養茎割合の多い)系統, また, 4番草の再生分けつ数が多く, 再生草勢が良好な系統であった. さらに, 2, 3番草では伸長茎が少ないが, 4番草

では出穂茎が多い系統でもあったことから、早晚性が相対的に遅い傾向にあったことが示唆された。

育成を目指す品種の生育特性が栄養生長的に偏り過ぎれば、開花結実する生殖生長茎が減って品種の種子生産コストに関与する採種性が低下する可能性がある。一般にチモシーの種子収量は早晚性の遅い品種ほど少ない傾向にある[24]。これらのことから、選抜に当たっては、採種性を考慮し、あまり晩生に偏らず、

一定程度以上の生殖生長茎を出現させる性質を備えているか否かに留意することが必要と思われる。

図V-2-11 から、「ホクシュウ」より欠株率が低く、かつ2, 3番草の生殖生長茎割合の高い系統(IV群)が認められたことから、採種性を必要以下に低下させることなく競争力に優れる系統を選抜できることが示唆された。



図V-2-11. 供試品種・系統の生殖生長茎数割合の相対的大小と混播条件下における欠株率(%)との関係。

第1主成分は単播条件下における2番草刈取時(6月上旬)および3番草刈取時(6月下旬)の節間伸長茎割合と4番草刈取時(7月下旬)の出穂程度の3形質による主成分分析により求めた。第1主成分の固有値は2.25, 寄与率は75.1%, 各形質の因子負荷量はそれぞれ0.900, 0.887, -0.810であった。●は標準品種「ホクシュウ」。

3. 多回刈り条件における乾物生産力と競争力の選抜可能性

本実験の結果、シロクローバの混播によって欠株率に明らかな品種・系統間差が認められたことから、欠株率が多回刈り条件におけるシロクローバに対する競争力の指標になると考えられた。供試系統の中には欠株率が「ホクシュウ」より低い系統も認められたことから(図V-2-9), 欠株率の低い系統の選抜育成は可能であると考えられた。

しかし一方で、図V-2-10 から単に混播区における欠株率だけに基づいて系統を選抜しても、当該選抜系統が単播区でも良好な生育を示すとは限らないと考えられた。加えて、本章第1節(図V-1-3)で見たように、チモシーはとくに夏-秋の生産量が不足することから、競争力とは別に改良する必要があると思われる。

収量性は単播区、混播区のいずれにおいても高いことが望ましい。しかし選抜に際し、単播試験と混播試

験の両方を設置するのは労力を要する。単播試験だけで混播区でも高収量を示す遺伝子型を選抜できれば好都合であるが、本実験の結果(表V-2-3, V-2-4, 図V-2-8, V-2-10)からそれは困難なことが示唆された。そこで、選抜はシロクローバ混播条件下で実施し、まず欠株率の高い系統を選抜対象から除外し、欠株率が低く一定以上の分けつ密度が維持された系統について、季節ごとの茎の生長量を加味して選抜を行うことで、競争力が強くかつ多収な系統を選抜できると思われた。

小 括

多回利用条件下において他草種との競争によりもたらされるチモシーの分けつ密度低下の系統間変異と分けつ構成内容との関連性、ならびに多回利用下で競争力に優れる系統育成の可能性について検討した。

単播区とシロクローバ混播区の分けつ数の季節推移

は、7月(4番草)以降にシロクローバ混播区で多くの系統に枯死株が発生したことにより、両区間に大きな差異が生じた。8月以降は混播区の欠株率に大きな品種・系統間変異が認められた。

混播区で欠株の少ない系統は、2, 3番草で分げつ数が多く、伸長茎割合が少ない(つまり2, 3番草で栄養茎の多い)傾向にあった。またそれらの系統は、4番草で再生分げつ数が多く、再生草勢が良好で出穂茎が多い傾向にあることも認められた。

一方、混播区における欠株率だけを指標に系統選抜を行っても、当該系統が単播区でも良好な生育を示すとは限らないと考えられた。しかしながら、本実験で用いた供試材料の中にも有用な変異は認められたことから、混播区で欠株率が低く、かつ単播区の生育が良好な系統の選抜は可能であることが示唆された。

第VI章 総合考察および結論

1. 草地におけるチモシーの分けつ密度の経年的維持の機構

(1) 分けつ密度維持に大きく影響を及ぼす新旧分けつの季節的交代の様式

本研究でははじめに、チモシー早生品種「ノサップ」および晩生品種「ホクシュウ」を供試して、生育段階別分けつ構成内容の季節的推移を複数年調査し、チモシーの分けつ密度維持に大きく影響を及ぼす新旧分けつの季節的交代の様式、収量構成分けつの発生時期および生存期間について検討した。

第Ⅲ章第1節および第2節において、採草利用（年間2回刈り）条件ならびに多回利用（年間5-6回刈り）条件におけるチモシーの新旧分けつの交代の様式を調査した結果、チモシーにおける新旧分けつの交代は、利用頻度にかかわらず、6-7月（北海道の採草利用では1番草、多回刈りでは2, 3番草の生育時期に相当）の刈取りの前後において顕著に認められるという季節性を示すことが明らかになった（図Ⅲ-2-5, Ⅲ-2-6）。当該時期は、多数の分けつが生育相を伸長茎へと転換し、刈取後は茎頂を失って再生不能となる代わりに、刈株から多数の新分けつが発生してそれらと置換した。チモシー草地における分けつ密度の維持は、このような新旧分けつの季節的世代交代が確実に成し遂げられることによって成立していると考えられた。

一方、利用（刈取り）頻度にかかわらず、これら分けつの世代交代盛期を除けば、分けつ集団は主として未伸長茎（栄養茎）から構成され、それらの分けつは栄養生長段階にある限り、刈取りに際して茎頂が刈残され、刈取後も再生を繰り返した[83, 179]。このため、刈取後の再生分けつは、主として刈取時に既存の分けつにより構成されていた。

また、チモシーの主要な収量構成分けつの発生時期は、主として節間伸長（生殖生長）が旺盛となる6-7月の刈取後から同年9月頃までとみられ、当該期間に発生した分けつが8月以降翌年6-7月にかけて収量構成分けつの主体を構成するものと考えられた（図Ⅲ-1-6）。一方、越冬前から翌年5月の節間伸長開始前までの期間においても分けつ数の増減は認められるが（図Ⅲ-1-1, Ⅲ-2-1）、このとき増加する遅発分けつの多くは、密度依存的な調節[1, 67]により淘汰されるものと推察された（図Ⅲ-2-5, Ⅲ-2-6）[180, 190]。そのほか、分けつが発生してから刈取りで茎頂

を失い再生不能となるまでの期間、すなわち草地におけるチモシーの分けつの寿命については、これまでの報告[63]と同様、1年以内であると考えられ、刈取り頻度が高い場合において、品種によっては一部の分けつの寿命が1年以上に及ぶ場合があることが示唆された（図Ⅲ-2-5, Ⅲ-2-6）。

新旧分けつの季節的交代と窒素供給条件との関係について、松中・小関（1983, 1984）[87, 89]は、チモシーの早生品種「センボク」をポットで水耕栽培し、1番草の全期間（萌芽起生期、幼穂形成期、節間伸長期、出穂期）に渡って窒素を供給し続けた場合と、窒素供給を幼穂形成期ないし節間伸長期までで止めた場合では、前者の条件[87]の方が1番刈時の刈株において刈取後に速やかに再生できる既存分けつ（栄養茎）が多く確保されたことを報告した。これに対し、後者の条件[89]では、1番刈後に再生の主体となった分けつは、刈取後に発生した新分けつであった。このことは、1番草における窒素の供給条件が、刈取時の株の諸性質に影響し、刈取後の再生分けつの構成内容、ひいては再生を改善する可能性のあることを示している[84]。

一方、本研究の第Ⅲ章第1節でみたように、一般の圃場栽培では、1番刈後の再生分けつは、後者の条件[89]と類似して新分けつが主体となり（図Ⅲ-1-1）、2番刈後において再生分けつは刈取時の既存分けつが主体となった（図Ⅲ-1-1）。また、たとえ1番草における窒素供給条件が異なっても、1番刈後の再生分けつは新分けつが多数を占めたことから[87, 89]、結局のところ翌年1番草にかけて長期的に乾物生産の主体を担うのは、1番刈後に多発する新分けつであると思われる（図Ⅲ-1-6）。したがって、1番草刈取り以降（2番草以降）の乾物生産を高めるには、とりわけ1番刈後に新分けつを十分に発生させることが重要で[89]、そのために1番刈後の適切な時期における十分な量の窒素供給が重要な意義を持っているといえることができる[89]。

(2) 北海道で栽培される主要なイネ科草種とチモシーの分けつの季節的動態における差異

道内で栽培されているチモシー以外の主要なイネ科牧草における分けつ数の季節的動態をみると、伊東ら（1989）[53]は、オーチャードグラスでは一度減少した茎数密度を確実にかつ迅速に回復し得るのは秋期に極限されることから、永年再生維持のための新旧分けつの

交代は秋期に生起するとみなすのが妥当であるとした。オーチャードグラスの分げつは、出穂期前後の1番刈後には一時的に刈株からの分げつ発生により漸増するが、これらの分げつは弱勢で、多くは夏期高温下で枯死したのに対し、秋期に発生した分げつは、翌年1番刈以降もかなりの割合で栄養生長を続けて残存し、その多くが秋まで生存した[53]。

Emoto・Ikeda (1999) [8]は、ペレニアルライグラスで分げつ数が1 m²当たり10,000本を超えたこと、ペレニアルライグラスの分げつは低温短日条件を経ないと生殖生長段階へ移行できず、播種翌年の節間伸長茎数は播種年に発生した分げつ数の範囲内に止まったこと、また播種後3年目4月までに発生した節間伸長茎数が総分げつ数に占める割合は18%に過ぎなかったこと、ペレニアルライグラスでは分げつが出現してから枯死するまでの寿命が5-7か月と推定されることを報告した。

Lambert・Jewiss (1970) [78]は、メドウフェスクについて、穂の形成が認められた分げつをみると、その出現から開花までの期間が3か月のものから33か月に達したものまで広範囲に及んだこと、新分げつは6-7月に多く発生することを報告した。またメドウフェスクでは分げつの穂形成において、個体内での分げつの位置や分げつの次位など分げつ間の序列の影響を強く受け、それが同一年に生殖生長できる分げつの割合を制限していた。

Itoら(1997) [56]は、オーチャードグラス、トールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb.), チモシーおよびリードカナリーグラスの分げつ数の季節推移を調査した結果、トールフェスクの分げつ数は年間を通して最も多く推移したこと、またオーチャードグラスとトールフェスクでは生育期間中、刈取直後の分げつの発生が著しく少なく、茎数密度は漸減し、初秋には概ね春期の半分以下に低下したことから、このような群落構成分げつの推移の仕方を「持続型 (conservative type of tiller composition)」と定義した。トールフェスクでは生育期間中に存在する分げつは主として前年秋に補充されたものであり、同じ叢生型の生育型を示すペレニアルライグラスが生育期間を通して分げつを増加させることができるのに対し、異なる分げつ発生様式を有するとした。なお Itoら(1997) [56]は、チモシーならびにリードカナリーグラスは、生育期間を通して刈取後は新分げつの補充が可能で、このような群落構成分げつの推移の仕方を「交替型 (alternating type of tiller composition)」

と定義した。

以上のことから、生産に寄与する分げつの発生や分げつ集団の世代交代の季節的パターンは、道内で栽培されている他の主要なイネ科牧草であるオーチャードグラス[53, 56], トールフェスク[56], メドウフェスク[78], ペレニアルライグラス[8]とチモシーとでかならずしも一致しておらず、図Ⅲ-1-6に示した分げつ集団の季節的生育過程はチモシーに特徴的な生長様式と考えられる。すなわち、チモシー茎葉の季節的な生産性の変化は、地上部分げつ集団の生育時期を6-7月の刈取後における発生から越冬前までの栄養生長を主体とする期間(a1), 6か月にも及ぶ越冬期間(a2), 主要な分げつの生育相が栄養生長から生殖生長に転換し、高い乾物生産を示す期間(a3)の3つに区分して把握できる。ちなみに現行のチモシーの窒素施肥法[35, 91]は、1番草刈取後と早春が基本的な追肥の時期とされているが、1番草刈取後は分げつ集団の生育の開始時期ともいえるa1の初期に該当し、早春はa3の初期に該当することから、分げつ集団の季節的生育過程に照らしても理にかなっているといえよう。

したがって、チモシー草地における分げつ密度の経年的な維持は、草種固有の分げつの発生消長の様式に基づいて成立しているといえることができる。

(3)チモシー単播草地において確保が望ましい分げつ密度の目安

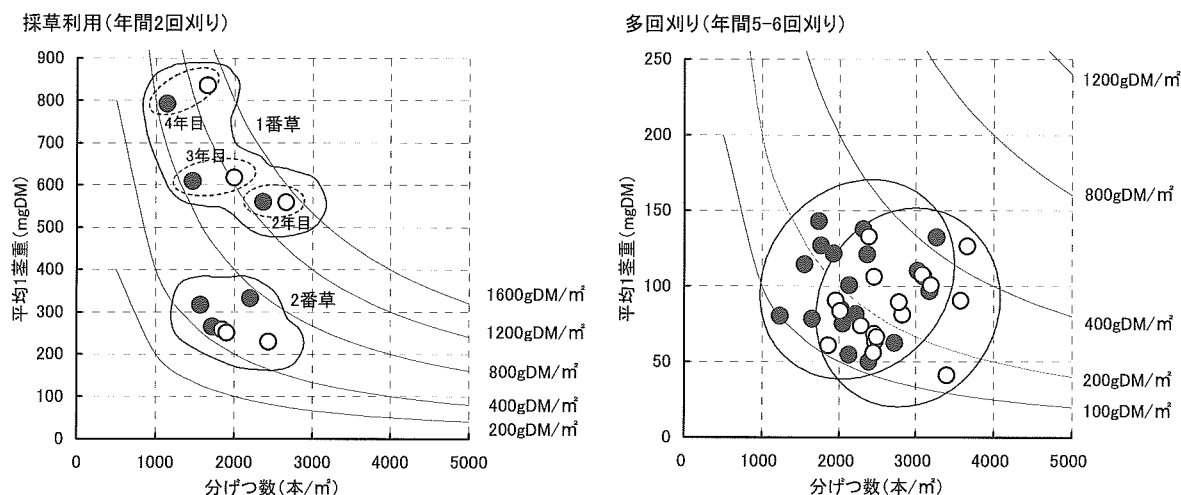
「ノサップ」と「ホクシュウ」を供試して分げつ数の季節的および年次の推移を調査した結果(第Ⅲ章第1節および第2節), 「ノサップ」, 「ホクシュウ」とも、年次にかかわらず、採草利用(年間2回刈り)条件下の1番草では節間伸長が開始する春期(5月下旬)と比べ、刈取期(6-7月)には総分げつ数が減少する推移を示した(図Ⅲ-1-1)。このことは、チモシーにおいても、分げつ密度が必要以上に高ければ、茎重の増大につれて分げつ密度は密度依存的な調節[1, 67]を受けることを示唆している。

4年間に渡る調査の結果、図Ⅵ-1に示したように、採草利用条件(第Ⅲ章第1節)では、年次の経過とともに、とくに1番草では、「ノサップ」, 「ホクシュウ」とも分げつ数が減少し、4年目1番草では1 m²当たり1,500本前後に達した。しかし、地上部現存量や乾物収量の年次推移から(図Ⅵ-1, 表Ⅵ-1), この分げつ密度は茎重の増大によってまだ十分な収量を補償できる水準にあったと考えられる。

一方、多回刈り条件(第Ⅲ章第2節)では、分げつ

数は少ないときで「ノサップ」は1㎡当たり1,500本程度、「ホクシュウ」では2,000本程度であった(図VI-1)。分けつ数は、全般に「ノサップ」より「ホクシュウ」が多かったが、3か年合計乾物収量は、両品種

でほぼ同程度であった(表VI-1)。このことから、「ノサップ」の収量は、その茎重が全般に「ホクシュウ」より大きくなったことにより補償されたと考えられた(図VI-1)。



図VI-1. チモシーの分けつ密度(数)および分けつ重(平均1茎重)が地上部現存量に及ぼす影響。単播草地における播種後2-4年目の各番草刈取期のデータ。図中の曲線は等地上部現存量(刈株部位を含む地上部全乾物重)を示す曲線。●:「ノサップ」、○:「ホクシュウ」。

表VI-1. チモシー品種の単播草地における年間合計乾物収量。

年次 ¹	採草(年間2回刈り)		多回刈り(年間5-6回刈り)	
	ノサップ	ホクシュウ	ノサップ	ホクシュウ
2年目	129.7	143.1	73.1	74.5
3年目	112.6	122.2	54.0	56.6
4年目	107.6	110.8	61.0	55.3
3か年合計	349.9	376.1	188.1	186.4

¹2年目:1998年, 3年目:1999年, 4年目:2000年。

これらの結果から、侵入雑草を適宜除草し他草種の影響を排除した単播条件、すなわち分けつ密度が密度依存的な調節(種内競争)の範囲内で変動するような条件でチモシーを栽培するとき、チモシー草地の生産性維持にとっての分けつ密度の適正水準は、採草利用で1㎡当たり1,500本程度以上、多回刈りでは1㎡当たり1,500-2,000本程度以上であると考えられた。

Itoら(1997)[56]は、新潟大学圃場において、幼苗を1㎡当たり64株の密度で移植し、少回刈り(年3回刈り)、標準刈り(年5回刈り)、多回刈り(年8回刈り)の条件で数種寒地型イネ科草種の分けつ数の推移を調査した。その結果、年間平均の1㎡当たりの分けつ数は、チモシー(早生品種「センボク」)では

少回刈りが1,603本、標準刈りが2,010本、多回刈りが2,635本と刈取り頻度が高いほど高い分けつ密度が認められた。また、各イネ科草種の分けつ密度は、トールフェスクが3,069-3,976本と最も多く、次いでチモシー(1,603-2,635本)、オーチャードグラス(1,683-1,876本)、リードカナリーグラス(1,000-1,663本)の順に多かった[56]。石田(1975)[45]は数種寒地型イネ科草種を供試し、散播で年間3回刈りと5回刈りの処理区を設け、分けつ数の推移を調査した結果、分けつ密度は3回刈りより5回刈りで多く、草種間ではケンタッキーブルーグラスが1㎡当たり約8,000-10,000本と最も多く、次いでペレニアルライグラス(約5,000-6,000本)、レッドトップ、ト

ールフェスク、チモシー（約 2,000-3,000 本）の順に多かったと報告した。第Ⅲ章において認めたチモシーの分げつ密度の数値は、これら既往の報告と類似しており、妥当な数値であると思う。

2. 草地におけるチモシーの分げつ密度の減少をもたらす要因と要因間の重要度

本研究では、チモシーの草地において、密度非依存のギャップ[116]を形成するような外的要因について検討し、重要性を明らかにした。

(1) 利用頻度

チモシーは、その形態的、生理的特性に起因して、イネ科草種の中では刈取後の再生が劣る草種であり[154]、高頻度の利用には適応性の低い草種である。そこで、利用（刈取り）頻度の増加がチモシーの分げつ密度維持に及ぼす影響について検討した。その結果、個体（ジェネット）単位でみた場合の生育期間中（5月-11月）に増加した分げつ総数は、年間2回刈りに対して年間5回刈りの方が少なかったことから、ジェネット単位では利用頻度の増加は分げつ数を減少させることが示唆された（第Ⅲ章第3節）。しかし、第Ⅲ章第1節と第2節でみた一般の栽培条件に近い個体群条件下における分げつ密度は、年間2回刈りより年間5-6回刈りにおいて経年的に高く維持され、欠株の発生もなかった。既往の報告[45, 56]でもチモシーを含む主なイネ科草種において、刈取り頻度が高いほど、分げつ密度は高く維持されることが知られており、北海道で実施した本研究においても同様の結果が認められた。これらのことから、一般の栽培条件である個体群条件下では、多回刈りはむしろ分げつ間競争（種内競争）の影響を緩和する結果、草地において必要な分げつ密度の維持を可能にすると推察された。つまり、利用頻度の増加そのものが個体群条件下におけるチモシーの分げつ密度の減少をもたらすわけではないことが明らかとなった。

Ito ら（1997）[56]は、オーチャードグラス、トールフェスク、チモシー、リードカナリーグラスの分げつ数の季節推移の調査から、分げつの発生様式が明確に異なっている、いずれのイネ科草種ともに分げつ密度は一般に刈取頻度が高い方が高く維持されるとした。このことは、オーチャードグラスやトールフェスクのように分げつの消長の様式が「持続型（conservative-tiller type）」の草種では、草地の刈取り頻度が少ないと、必然的に既存分げつが枯死する機会が増大するので、密度を高く維持するには、相対的に高い頻度で刈取りを行う方が有利であることを示

唆している[56]。一方、チモシーやリードカナリーグラスのような「交替型（alternative-tiller type）」の草種では、再生不能となった分げつは、速やかに新分げつに置換するため、刈取回数が少なくても、それが分げつ集団の生育抑制をもたらすとは考えにくい[56]。チモシーでは近年、飛地など遠隔地のため管理の行き届きにくい圃場において、年間に1回程度しか収穫できないようなケースも見られる。チモシーでは様々な品種が市販されており、刈取り頻度とチモシー品種の分げつ密度維持との関連については、今後、より詳細に検討されるべき課題であろう。

(2) 草種間競争

岸（1974）[69]は、九州大分県において、オーチャードグラスを単播とラジノ型シロクロバとの混播で栽培し、年間6回の刈取りを行い、オーチャードグラスの株密度の推移を調査した。その結果、単播草地では、むしろ年間3,4回刈りを行った草地よりも株数密度は高く維持されたのに対し、混播草地では、刈取回数が多いほど、つまり3,4回刈りよりも6回刈りを行った草地において、株数密度は経年的に低下した。このことから、岸（1974）[69]は、混播草地でみられた6回刈りにおけるオーチャードグラスの消滅の傾向は、刈取回数の直接の影響ではなく、刈取回数によって導かれるシロクロバとの競争の影響によるものであろうとした。

本研究において、チモシーは、単播で手取り除草を行い、他草種との競争の影響を排除した条件では年間5-6回程度の多回刈りを行っても、欠株の発生はなく、必要十分な分げつ密度が経年的に維持された。一方、チモシー・シロクロバ混播草地を造成し、年間2回、4回および6回の刈取りを行い、被度の推移を調査したところ、刈取頻度の増加に伴いチモシーの被度と乾物収量は減少し、シロクロバの被度と乾物収量は増加した（第Ⅳ章第2節第1項）。とくに年間6回刈りでは、チモシーの品種による違いは認められたものの、播種後2年目の4番草または5番草以降、3年目の2番草または3番草以降、4年目の全番草において、被度はシロクロバがチモシーを上回った。したがって、シロクロバ混播条件におけるイネ科草種の密度に関して、チモシーでも九州北部のオーチャードグラス[69]と類似した結果が認められた。

これらのことから、チモシーの分げつ密度の減少をもたらす要因は、必ずしも利用頻度の増加そのものではなく、隣接して生育する他草種との競争がより大きな要因であることが明らかになった。また、他草種と

の競争条件下にあるチモシーは、刈取り回数の少ない条件が、多い条件に比して、密度維持を図る上では有利と考えられた。脇本（1980）[182]は、北海道根釧地方において広範な草種組合せについて混播試験を実施した中で、ラジノ型（大葉型）シロクロバとチモシーを混播したところ、年間2回刈りでは2年目以降チモシーの収量と構成割合はラジノクロバを上回ったが、年間4-5回刈りでは2年目以降チモシーの構成割合は次第に低下しラジノクロバが優占したと報告した。本研究（第IV章第2節第1項）では大葉型ではなく、中葉型のシロクロバ品種をチモシーの混播相手としたが、利用頻度とチモシーの構成割合との間に脇本（1980）[182]と同様の関係を認めた。

また、シロクロバ混播・多回刈り（年間5-6回刈り）の条件下で、チモシー区はメドウフェスク区と比べ、とくに3年目の7月以降はチモシーの被度が低下し、その後もその状態が継続した（第IV章第2節第2項）。加えて、日乾物重増加速度（CGR）もチモシーではとくに7月以降において低下した。これらのことから、多回刈条件下におけるチモシーの競争力は、メドウフェスクと比べ劣っており、このような草種間差異は、刈株の貯蔵窒素や貯蔵炭水化物（TNC）の含有率の差異に起因したというよりも、6-7月の新旧分けつの交代が旺盛な時期において、チモシーは刈取後に茎頂を失い再生できなくなる伸長茎の出現割合がメドウフェスクより高く、また刈取直後に再生可能な既存の栄養茎の数やその割合がメドウフェスクより少なく、その茎重も小さいことに起因したことを明らかにした。すなわち、他草種に対する競争力の草種間差異を生じる要因として、とりわけ各草種に固有の生育段階分けつの季節的消長のパターンにおける違いが重要であることが明らかになった。なお、本研究におけるこれらの調査結果から、他草種に対するチモシーの競争力が季節的に最も劣る時期は、新旧分けつの交代が最も旺盛となる時期（節間伸長茎出現盛期となる6-7月の刈取後）に該当すると考えられた。

これまで、刈株の諸形質、とくに刈株の貯蔵養分（窒素、TNC）と再生との関係について、数多くの報告がみられる[7, 84, 93, 113]。江原ら（1966）[7]は、C¹⁴のトレーサー実験によって、バヒアグラス（*Paspalum notatum* Flugge）の株・根に蓄積された貯蔵炭水化物は、刈取後数日間のみ、その一部が新葉合成（再生長）に利用されるが、その後はほとんど利用されていないことを示した。Matsunakaら（1997）[93]は、オーチャードグラスを圃場で窒素施肥量を変えて栽培し、刈

取後10日間の再生量は、1, 2番草刈取後とも刈株の窒素含有率の増加に伴い増加したことを認め、窒素含有率の重要性はTNC含有率より高いとした。名田・江原（1970）[113]は、チモシーを含むいくつかのイネ科草種では、生育段階別再生量は、一部の草種を除いて刈株のTNC含有量（g/ポット）との関係は見られないが、いずれも刈株の窒素含有率（%）とよく一致し、刈取時に窒素含有率が高い若い分けつ（栄養茎）の割合が高いと、再生量が高いであろうとした。前野・江原（1970）[84]は数種イネ科草種を、窒素施肥量を変えてポットで栽培した結果、窒素施肥量が多いと、刈取時の株の窒素含有量が増え、刈取後に再生可能な既存分けつ数が増加し、再生量も多くなることを示した。本研究では、シロクロバ混播・多回刈り条件下におけるチモシーとメドウフェスクの刈取後の再生力（競争力）の草種間差異と刈株の乾物重および貯蔵養分との関連性を調査した（第IV章第2節第2項）。その結果、チモシーの生産力がメドウフェスクより劣った4番草の再生に影響する3番草刈取時の刈株の窒素含有率は、チモシーでは0.37%とメドウフェスクの0.95%より低かった（図IV-2-13）。このことは、再生の草種間差異についても、刈株の窒素含有率との関連性が高いことを示していた。一方、刈株の貯蔵養分の推移と生育段階別分けつ構成内容（図IV-2-10, IV-2-11）との関係から、この3番草刈取時の刈株の窒素含有率の草種間差異は、3番刈時においてチモシーよりメドウフェスクの方が栄養茎の構成割合が高かったことに起因したと推察された（IV-2-10, 図IV-2-11）。最近、Virkajärviら（2012）[180]は、チモシーは、6月の1番草刈取後の初期の再生がトールフェスク（*Festuca arundinacea* Schreb.）より劣ったが、この違いはトールフェスクでは刈取時に栄養茎が多数存在していたことによるものであったとしている。これらのことから、再生力や競争力の草種間差、品種間差をもたらす要因や肥培管理法などを検討する際には、貯蔵養分（窒素、TNC）だけでなく、生育段階分けつの季節的消長との関係を調査することが望ましいと考えられる。

そのほか、混播相手マメ科牧草の種が異なると、チモシーの被度や収量の低下の程度は異なった。このことから、混生するマメ科牧草の生活型[121]や刈取りに対する反応の違いによって、チモシーの競争力の相対的な大小が変化することが明らかになった。根本（1997）[116]は、牧草地雑草の生育型の研究から、雑草種のタイプを、播種した牧草種と草丈が同じか高く

なる「大型雑草」と、牧草種ほど高くない「小型雑草」に分け、前者は牧草と競争関係にある種、後者は牧草とすみ分けて生活可能な種と位置付けることも可能であろうとした。また根本 (1997) [116]は、侵入後の生育空間確保の仕方から、雑草種を陣地強化型、陣地拡大型、両タイプの使い分け型などに分類し、シロクロバは陣地拡大型に分類している。草地では年間数回の刈取りが行われ、その度に生育が再度開始されることから、チモシーと混播相手マメ科牧草あるいは雑草との関係は、単純にこのようなタイプに分類して捉えることは難しく、地域や利用頻度、番草 (季節) によって変化すると予想される。今後、草地の草種構成を適切に維持する手段を明らかにする上で、草地の植物群落を構成する草種個々の生育型や生活史、競争または共存との関係 [115–118] について、このような雑草生態学的知見を牧草類にも応用し検討を試みるべきであろう。

(3) 土壌水分の不足

本研究では土壌水分の不足がチモシーの分けつ密度に及ぼす影響についても検討した。道北地方 (浜頓別町) において、褐色森林土を用い、生育期間中に降水量の少ない時期が比較的長く続いた年次 (1 番刈後に干ばつであった 1990 年, 1 番草で干ばつであった 1995 年, 1 番草から 1 番刈後にかけて干ばつが続いた 2005 年) を選定し、各年次の降水量を模した灌水を人為的に行って、対照区 (平年値の処理区) と分けつ密度の推移を比較した。その結果、1 番草、2 番草とも降水量が少ないと分けつ密度は低下した。とくに 1 番草刈取後の干ばつは 2 番草において、再生の遅延、発生する新分けつ数の減少を招いた。また、1 番草から 2 番草にかけて干ばつが継続した 2005 年型の処理区では、2 番草の分けつ密度は平年型の 24% まで低下し、枯死個体 (ジェネット) の発生も認められた。そのほか、褐色森林土、泥炭土、黒ボク土を供試して、2005 年型の灌水を行い、干ばつ条件下における土壌型の影響を検討した結果、2 番草ではいずれも再生の遅延が認められ、とくに泥炭土では全ての個体 (ジェネット) が枯死した。以上のことから、チモシーでは、とくに 1 番草刈取後の再生草の分けつ密度は、干ばつの影響を受けやすいと指摘できる。なお、無機養分が土壌中を移動し植物の根に吸収されるのは、①水の mass flow, ②拡散, ③根が伸長することにより養分に遭遇することの 3 つの機構によっており、窒素は最も mass flow の流れに乗って動きやすい [51]。干ばつ条件下における新分けつ発生 (形態形成) の抑制は、土壌水分の欠

乏により窒素吸収が阻害されたことが一因であったと推察される [111]。本研究の結果、土壌水分の不足 (干ばつ) による分けつ密度の低下は、草種間競争による分けつ密度の低下と同様に、伸長茎出現盛期となる 6–7 月の刈取後、すなわち新旧分けつの交代が最も旺盛となる時期に最も起こりやすいことが明らかになった。

なお、各処理区とも、処理後は平年並みの灌水を翌年まで行ったところ、いずれの処理区とも分けつ密度は翌年にかけて平年並みに回復しうることが示唆された。圃場の方がポット栽培よりも土壌の含水量の低下がゆっくりであること [57] などから、ポット栽培は圃場よりもむしろ生育に不利な条件にあったと思われる。これらのことから、道北地方のチモシーの褐色森林土草地では、干ばつに遭遇しても、多くの場合、分けつ密度は翌年にかけて回復しうると推察された。

(4) チモシーの分けつ密度維持を阻害する要因間の重要度

分けつ密度の減少をもたらす外的要因の中でどの要因がより重要な影響を及ぼすか、要因間の重要度についてまとめてみる。

第 IV 章第 1 節でみたように、個体群条件下のチモシーは、利用頻度が高まっても、単播栽培では、分けつ密度の季節的な増減は認められても、欠株の発生は認められなかった。つまり、利用頻度に関わりなく、チモシーの分けつ密度は、密度依存的な調節 [1, 116] の範囲内で増減し、一定の密度が維持されることが示唆された。

一方、第 IV 章第 2 節では、マメ科牧草を混播した条件において、チモシーの被度を調査した。シロクロバとの混播では利用頻度が高まるほど、また生活型 [121] の異なるマメ科牧草との混播では、マメ科の草種によっては、チモシーの被度は明らかに低下した。このことから、隣接して生育する他草種との競争は、チモシーの分けつ密度に影響を及ぼす最も重要な要因の一つであると考えられた。したがって、チモシーの分けつ密度の低下は、必ずしも利用頻度の増加そのものによって起こるのではなく、混生した他の草種との競争によって起こるものと考えられた。

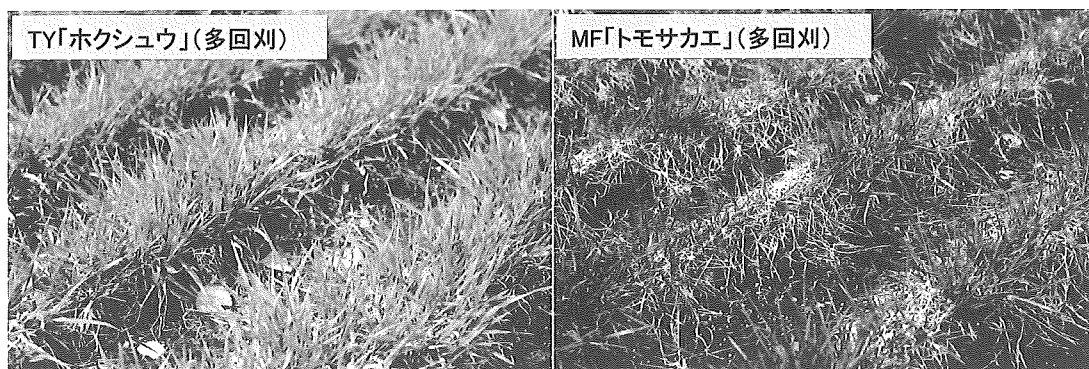
他方、第 IV 章第 3 節では、環境ストレスの一つである土壌水分の不足 (干ばつ) がチモシーの分けつ密度維持に及ぼす影響を検討した。その結果、1 番草刈取期の前後において、降水不足が長期間続いた場合、チモシーは刈取後の再生が悪化し、2 番草において枯死個体が発生しうることが示された。しかし、枯死個体

が発生しても、翌年にかけて適度な降雨があれば、分げつ密度や草地の牧草生産性は回復できることが示唆された。土壌水分に対する反応は草種によって異なるため、それらを混播した場合の草種比率は土壌水分の乾湿によって変動する[153]。また、水ストレス耐性、夏枯れに対する抵抗性、干ばつ後の生育回復能力、それらを左右する根の構造や水利用効率などには草種間差が存在する[51, 131, 133, 166, 170, 174]。比較的深根性のメドウフェスクは、比較的浅根性のチモシーと比較して、35cm以下の深い土層から多量の水を吸収できた[174]。一方、根による水分吸収の多少は、蒸散→光合成→乾物生長（LAIの拡大や他草種に対する遮光力の獲得など）という過程で光の吸収と切り離して考えることはできない[170]。これらのことから、干ばつ条件下でチモシーより生育や刈取後の再生性に優れる草種が隣接して存在した場合には、草種間の競争によって、チモシーは十分な再生茎葉あるいは生育空間を確保できずに衰退すると思われる。

その他の要因として、主として凍害や雪腐病に起因する冬枯れは、オーチャードグラス、メドウフェスク、ペレニアルライグラスなど、北海道で利用されるチモシーを除く主なイネ科草種において、密度を減少させる要因としてその対策が極めて重要で、育種分野では越冬性が主要な育種目標とされている。オーチャードグラスでは、主な分げつの発生時期は秋期[52, 53, 56]であるが、出穂には冬期の低温を要求するため、翌年1番草の収量確保において、越冬による分げつの枯死は致命的となる。また、本研究第IV章第2節第2項の試験期間中において、メドウフェスクでは、冬枯れによる分げつの枯死を認めた（図VI-2）。これに対し、

チモシーは、既存品種並みの越冬性があれば、越冬前後における分げつ密度の明らかな減少は認められなかった。さらに、第V章第2節第1項において、チモシーと隣接したオーチャードグラスの再生の速さ、生育量はチモシーを明らかに上回った。メドウフェスクについても、第IV章第2節第2項において、シロクロバに対する競争力がチモシーより優れ、経年化に伴うケンタッキーブルーグラスなどの雑草の侵入程度もチモシーより少なかった。したがって、これらのイネ科草種では栽培利用する上で、チモシーほど競争力が問題になることはないと考えられる。脇本（1980）[182]も、チモシーは、オーチャードグラス、メドウフェスク、トールフェスク、ペレニアルライグラス、イタリアンライグラス（*Lolium multiflorum* Lam.）のいずれと混播しても生育が抑制されることを報告した。チモシーの場合、オーチャードグラス、メドウフェスク、ペレニアルライグラスなどとは対照的に、その草地における分げつ密度維持の阻害要因として、冬期の越冬に起因する障害よりも、むしろ夏期における生育衰退要因が、対策を必要とするより重要な問題になると考えられる。また、その原因として、典型的な長日植物であるチモシーは、6-7月の長日下における生殖生長茎の出現（節間伸長茎割合の増加）が極めて旺盛で、当該時期の刈取りの前後に新旧分げつの大幅な交代が生じるという特有の分げつの季節的消長の様式が大きく関与しているものと考えられた。

以上のことから、本研究において分げつ密度維持の阻害要因として検討した3つの要因のうち、チモシーの分げつ密度維持に影響を及ぼす最も重要な要因は草種間競争であると結論できる。



図VI-2. 播種後4年目の早春におけるチモシーとメドウフェスクの新葉の萌芽の状況。
第IV章第2節第2項において記録。2000年5月17日。TY：チモシー、MF：メドウフェスク。

3. 草地におけるチモシーの分けつ密度維持の対策

(1) チモシーの分けつ密度維持対策としての適正な混播相手マメ科牧草品種の選定ならびにチモシー品種の競争力の改良

既に述べたように、チモシーは寒地型イネ科草種の中では刈取後の再生が緩慢で、他草種に対する競争力が劣っており、その分けつ密度維持を阻害する最も重要な要因の一つは草種間競争であることを明らかにした。つまり、チモシーの分けつ密度維持にとって、草種間競争の制御が最も重要な課題となる。本研究ではとくに草地の維持管理時における草種間競争の影響の緩和策として、草地への導入に際して適正な品種を選定することの重要性や、品種の競争力の遺伝的改良の可能性について検討した。

本研究の結果、チモシーは刈取頻度が高いほど競争力は相対的に低下し、混播したシロクロバにその生育を抑制され、被度が低下しやすかった。シロクロバは小葉の大小や草勢の強弱に品種間差異が認められる[134]。そこで、混播相手シロクロバの品種をより草勢の穏やかな品種に置き換えたところ（第Ⅴ章第1節）、多回刈り条件においてもチモシーの被度は高く維持された。このことから、適切な混播相手マメ科牧草品種の選定は、チモシーの被度低下を抑えるのに有効であり、チモシーとマメ科牧草との混播に際しては、チモシーの生育を抑制しない品種の選定が、その密度維持において有効な対策の一つであることが示された。

一方、チモシー品種の競争力の遺伝的改良は、チモシーの分けつ密度維持にとって有効な対策の一つと考えられる。本研究では、採草（長草）利用条件および多回刈り（短草利用）条件における競争力の遺伝子型（個体、品種・系統）間の差異（遺伝的変異）の実態について明らかにし、競争力に優れる品種の選抜育成の可能性を検討した。なお採草利用条件では、再生力および競争力に優れる草種であるオーチャードグラス[182]、短草利用条件では、刈取り抵抗性に優れ広葉型で陣地拡大型[116]の草種であるシロクロバを混播相手とした。その結果、いずれの利用条件においても、他草種との混播条件下では、個体当たり分けつ数の減少程度や欠株率に遺伝子型間の差異が認められ、対照とした既存のチモシー市販品種と比べ個体当たり分けつ数の減少程度や欠株率の少ない遺伝子型が多数認められた。これらのことから、競争力を改良した品種の育成は可能であると理解できる。

(2) 競争力に優れるチモシーの遺伝子型の特徴

競争力に優れる遺伝子型が具備すべき特性を明らか

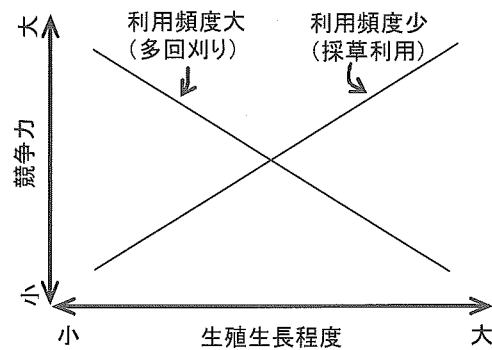
にするため、競争力と関連すると思われる形質について検討した。オーチャードグラスとの競争条件下で、年間2、3回の刈取りを行う採草（長草）利用条件において分けつ数の減少しにくい個体は、7月以降に生育する2、3番草で伸長茎の出現割合が高く、草高が高くなる傾向にあった（図Ⅴ-2-5、表Ⅴ-2-2）。一方、シロクロバとの競争条件で多回刈り（短草利用）を行った場合に欠株が発生しにくい遺伝子型は、とくに6月に刈取りした2、3番草で伸長茎の割合が低く（＝栄養茎の割合が高く）、3、4番草の再生分けつ数が多い傾向にあった（表Ⅴ-2-7、図Ⅴ-2-11）。

Sugiyama ら（1985）[162]はトールフェスクとメドウフェスクの品種を供試して、年間3回刈り（少回刈り）と5回刈り（多回刈り）を行い、生殖生長と栄養生長の関係を調査したところ、生殖生長期に栄養茎の割合が高い品種ほど、多回刈り条件での収量が高くなること、一方生殖生長茎（以下伸長茎）が出現しやすい品種は少回刈りで高い生産性を示すものの刈取後の再生力は劣る傾向にあるとした。チモシーにおいても、伸長茎の出現程度には大きな品種・系統間差異が認められることから、利用条件によって適応する遺伝子型のタイプが異なる可能性がある。

第Ⅴ章第2節第1項および第2項において得られた結果から、図Ⅵ-3にチモシーの品種・系統における伸長茎の出現程度と競争力との関係を示した。採草利用条件（利用頻度少）におけるチモシーの1番草は、品種にかかわらずほとんどの分けつが節間伸長、出穂するのに対して、1番刈後の夏以降に生育する2番草の伸長茎の出現割合は、早晚性が同じ品種・系統間においても変異が認められる。オーチャードグラスに対する採草利用条件下の競争力の変異は、2番草以降の伸長茎割合、草高の変異との関連性が高かった。すなわち、利用頻度が少なく高い草丈で利用する条件では、伸長茎の出現程度が高い遺伝子型ほど草種間競争に有利となる傾向が認められた。一方、多回刈り条件でもチモシーの遺伝子型には、伸長茎の出現が長日条件となる春期に限られる遺伝子型、次第に短日となる夏期以降も伸長茎の出現が認められる遺伝子型など、伸長茎の出現程度には種内変異が認められる。第Ⅴ章第2節第2項の結果から、多回刈り条件では、採草利用条件とは反対に、伸長茎の出現が少ない遺伝子型ほど、つまり栄養茎の割合が高い遺伝子型の方が欠株率が低く、競争には有利であると推察された（図Ⅵ-3）。刈取後の再生において、栄養茎と伸長茎の相対的な比率は大きな影響を及ぼす[162]。栄養茎比率が高いことは、

再生において重要な刈取後に残る生長点、刈取高以下に残る残葉の数量が伸長茎比率が高い場合に比較して多いことから、刈取後の速やかな再生を可能にし、頻繁な刈取りで高い生産性を示すことができる[162]。本

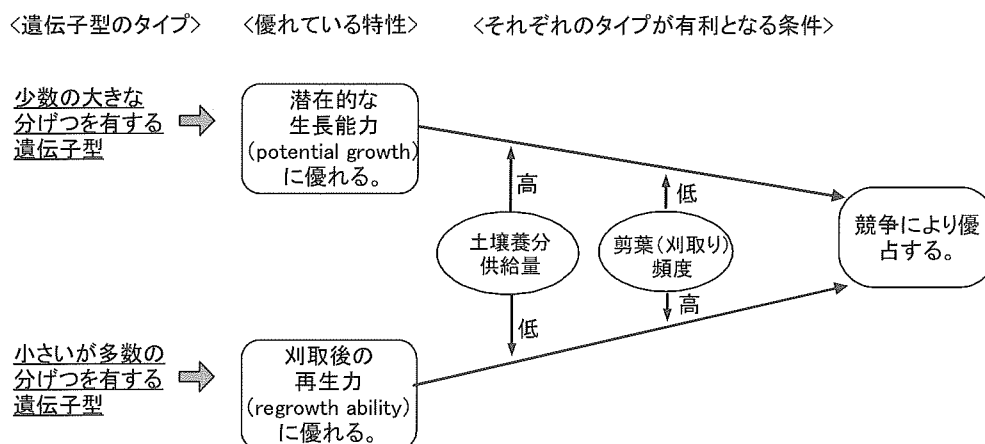
研究の結果、チモシーにおいても利用頻度の高い条件下における刈取後の再生と伸長茎の比率との間には類似した関係が認められた。



図VI-3. 各利用頻度の条件下におけるチモシー品種・系統の生殖生長程度と競争力の相対的大小との関係。
生殖生長程度：節間伸長茎の出現のしやすさ。

Sugiyama (1999) [165]は、ペレニアルライグラス、オーチャードグラス、トールフェスクの品種を供試して、他草種との混播条件における相対優占度（混播草地の全草量に対する構成割合）の種内変異（品種間差）を調査し、相対優占度の品種間差は、潜在的な生長能力（potential growth）と刈取後の再生力（regrowth ability）の相対的なバランスによって決まっているとした（図VI-4）。潜在生長能力に優れる品種は、少数の大きな分けつを有する品種であり、土壌養分が十分にあり、利用回数が少ない場合に競争で有利となる[165]。これに対して、刈取後の再生力に優れる品種は

茎重は小さいが多数の分けつを有する品種であり、土壌養分が少なく、利用回数が多い場合に競争で有利となる[165]。本研究の調査の結果（第V章第2節）、チモシーにおいて競争力に優れる遺伝子型は、採草（長草）利用条件と多回刈り（短草利用）条件では類型が異なり、採草利用条件では個々の分けつが大きく生長できる（図VI-4に当てはめれば生長能力が大きい）型、多回刈り条件では伸長茎より茎重は小さいが速やかな再生に有利な栄養茎の割合が高い（図VI-4に当てはめれば刈取後の再生力に優れる）型であると考えられた。



図VI-4. 異なる分けつサイズと分けつ数を有する品種間の競争力の差異を決定するメカニズムの仮説 (Sugiyama (1999) [165]を一部変更)。

なお、実用品種の育成に際しては、このような類型分けは必ずしも絶対的なものではないと考えられる。採草利用で2番草以降の個体当たり分けつ総数に対する伸長茎の出現割合が高く、草高が高い特性を備えていても、1番刈後の再生が著しく遅ければ、他草種の共存下では再生初期時点で競争により再生分けつは枯死し、分けつ数確保が十分でなくなり、高さの生長を競い合うまでに到らないと思われる。事実、オーチャードグラスとの隣接条件で分けつ数が減少しにくかった個体のグループは伸長茎割合や草高が高かったことに加え、刈取後の再生にも比較的優れる傾向にあった（図V-2-5、表V-2-2）。一方多回刈りの場合には、刈取後の再生が良好でも、以後分けつが大きく生長しなければ、牧草収量は低収に止まることになるであろう。本研究において、シロクロバ混播・多回刈り条件で単に欠株率が低だけで当該遺伝子型を選抜しても、その遺伝子型の生育が単播において必ずしも優れているわけではなかった（図V-2-10）。このことは、単に競争力に優れていても、個々の分けつの生長量が少ないならば、必ずしも生産性向上には結びつかないことを示唆している。したがって、競争力に優れる実用品種の選抜育成に当たっては、チモシーにおいても潜在生長能力と再生力の両特性のバランスを考慮し、採草利用向けとしては2番草以降の伸長茎割合が高く、かつ刈取後の再生力にも優れていること、多回利用向けとしては生殖生長の盛期においても栄養茎割合が高く、一方で個々の分けつはより大きく生長することが望ましい。

一般に栄養生長と生殖生長は同化産物の分配パターンからみてもトレード・オフの関係にある[163]。多回利用向けとしては過度に栄養生長的に偏れば、種子生産には不利となり品種の増殖と普及に支障を来す。そ

のため、実用品種の条件としては、栄養生長程度が高くかつ個々の分けつは生長量大きい性質を示す一方で、一定程度以上の生殖生長（種子生産）能力を備えていることが望ましい。本研究の調査の結果、多数の遺伝子型の中にはこれらを兼ね備えた変異が認められたことから（図V-2-11）、その利用により実用品種の育成は可能であることが示唆された。

今後、これらの選抜手法、有用な遺伝子型や形質間の関係に関する知見を活用し、より強い競争力を備えた品種を育成することは、チモシー草地におけるチモシーの分けつ密度維持にとって有効な対策となることが期待される。

(3)チモシーの分けつ密度維持対策としての高競争力品種の活用場面

再生力に優れるオーチャードグラス草地の草種構成は、越冬性に問題がなければ雑草の侵入が少なく安定している[28, 139]のに対し、本研究でみたように、チモシーは道内で利用される他の寒地型イネ科牧草に比べて、再生が緩慢で、他草種との競争力に劣る。従来、チモシー草地では経年化に伴うカリウムやリン酸の欠乏のような土壤養分環境の変化に伴い、そのような環境に適応したレッドトップ（*Agrostis alba* L.）やケンタッキーブルーグラスなどの生産性が劣る地下茎型イネ科草が侵入、増加することが問題として指摘されてきた[139]。ところが近年は、シバムギやリードカナリーグラスのようなチモシーの生育をより強く抑制しうる能力を持った地下茎型イネ科草が更新後数年のうちに侵入することが問題となることが多く[43, 145, 150, 151]、このことは更新時の圃場における不十分な雑草対策、チモシーの作付けに適した圃場選定の不備などが大きな原因と思われる[151]。

表VI-2. チモシー主体採草地における各草種の1番草草丈（cm）の調査事例。

圃場	更新年次	経過年数	調査月日 (月/日)	草丈(cm)							
				TY	OG	PR	WC	RCG	KBG	シバムギ	ギシギシ類
H5	1999年	7年	6/22	90.8	104.0	—	44.3	121.0	—	—	77.0
G1北東～西側	1995年	11年	6/22	80.6	101.8	—	38.2	104.4	97.0	94.0	58.0
G1南東小区画	1995年	11年	6/22	76.5	95.0	72.0	37.9	102.7	81.0	—	—
F6	1995年	11年	6/22	74.7	98.1	68.8	36.6	102.0	68.2	87.8	68.0
F7	1998年	8年	6/22	85.3	112.5	—	35.5	—	84.9	88.6	69.8

上川農業試験場天北支場（北海道浜頓別町）採草地において2005年に行った調査の結果。—は無しまたはごく少なかったため未調査とした。経過年数は播種年を含む。TY:チモシー、OG:オーチャードグラス、PR:ペレニアルライグラス、WC:シロクロバ、RCG:リードカナリーグラス、KBG:ケンタッキーブルーグラス。網掛けはチモシーよりも高い草丈を示した草種。

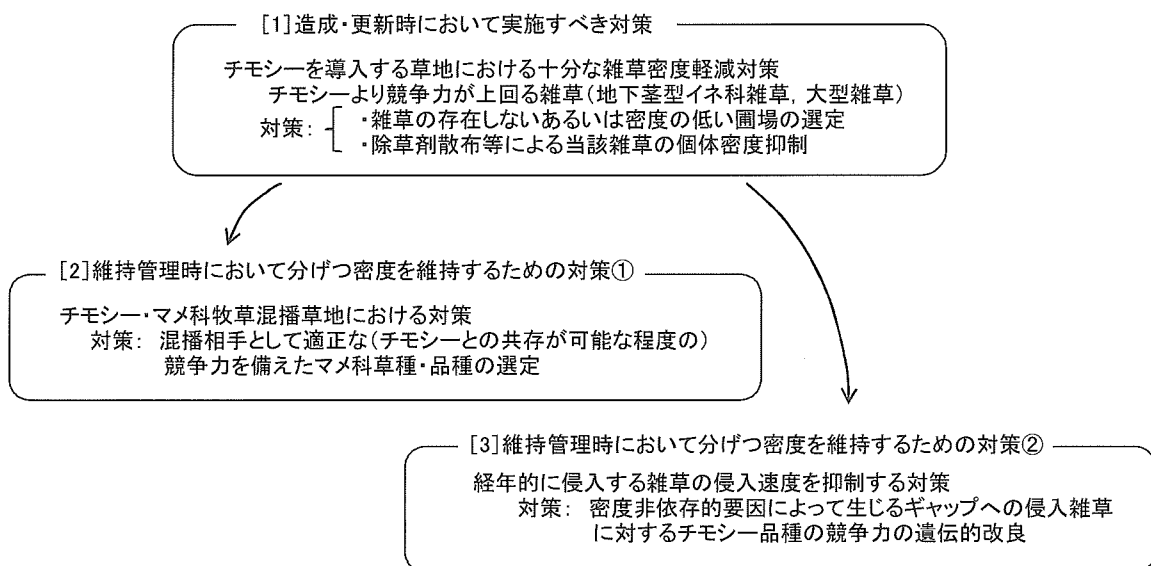
表VI-2は、チモシー主体採草地における1番草収穫期のチモシーならびに侵入した各種草類の草丈の調査事例である。表VI-2に示したように、シバムギやリードカナリーグラスは、同じ時期の草丈がチモシーより相対的に高いことから、チモシー草地では大型雑草[118]に分類でき、競争的な種となることのできる。

リードカナリーグラスの地下茎の拡散能力はケンタッキーブルーグラスより優れている[185]。また、リードカナリーグラスの空間占有の仕方は、3次元的であり、その生育型は障地強化－拡大型に分類される[118]。リードカナリーグラスが優占した草地内では他の雑草は光競争に不利となり侵入しにくいことから[118]、少数の種から成る極めて安定した群落が形成される[118]。さらに、リードカナリーグラスは、年間を通して刈取後は主として伸長節間地下節の休眠芽から新分げつを速やかに発生させることができ、それらの分げつは旺盛な生長能力を示す[54]。一方、シバムギは、種子よりも地下茎で拡散し、クローンの直径は6-8mが多く、30mに及ぶ場合もあったとされる[18]。また、シバムギの地下茎の多くは0-5cmの地表に分布するが、その現存量は1㎡当たりの全長が300-500mという膨大な量であった[41]。これが機械によって反転耕起された場合、切断された地下茎は独立した個体として定着し、新たに地下茎を生産することになるため、シバムギは猛烈な勢いで広がって行く[41]。また

シバムギの地下茎の水平方向への拡散能力は、ケンタッキーブルーグラスやレッドトップより優れている[41]。これらの報告は、シバムギやリードカナリーグラスの休眠芽（地下茎）が元々多量に存在する草地にチモシーを作付けしても、早晚競争力に優るこれらの草種がチモシーの生育を抑制することは避けられないことを示している。したがって、チモシーの作付けに際しては、作付け前にこれらの防除をしっかりと行うこと、あるいはそのような圃場への作付けは回避することが肝要であると言える。

以上のことから、草地におけるチモシーの分げつ密度の長期的な維持を可能にするには、まず第一に、草地の造成・更新時におけるチモシーの導入に際しては、チモシーの生育を抑制するような雑草の個体密度が少ない圃場を選定すること、あるいは作付け前にそのような雑草の密度が高い圃場では、除草剤散布など[156]によりその密度をあらかじめ十分に減らした圃場を準備しておくことが前提になると考えられる。競争力を改良した品種の導入によるチモシーの密度の長期的維持の効果は、このような造成・更新時における圃場条件を満たした上ではじめて発揮されるものと考えられる。

本研究の結果に基づき、草地におけるチモシーの分げつ密度維持の対策は、図VI-5のようにまとめられる。



図VI-5. 草地におけるチモシーの分げつ密度維持の対策。

本研究では[1]を圃場の前提条件とし、[2]および[3]を検討対象とした。

4. 結論

本研究では、草地におけるチモシーの分げつ密度維持の機構、分げつ密度維持の阻害要因を明らかにし、それらに基づく分げつ密度維持の対策を検討した。その結果、次のような結論が得られた。

(1) チモシーの分げつ密度は、草種に固有の季節的様式を示す新旧分げつの世代交代が確実に成し遂げられることによって経年的に維持される。それがチモシーの永続的維持の要件である。この世代交代の時期は伸長茎出現盛期（北海道では6-7月）の刈取りの前後である。

(2) チモシー草地の生産性維持にとっての分げつ密度の適正水準は、採草利用の場合 1,500 本/m²程度以上、多回利用では 1,500-2,000 本/m²程度以上である。

(3) 本研究においてチモシーの分げつ密度維持の阻害要因として利用頻度、草種間競争、土壤水分を検討対象とした。このうち、分げつ密度維持の阻害要因として最も大きな影響を及ぼす要因は草種間競争であり、これに土壤水分と利用頻度が続いた。

(4) 土壤水分の不足や草種間競争による分げつ密度維持の阻害が季節的にもっとも顕著に認められる時期は、上記の新旧分げつの交代が最も旺盛に起こる時期に該当する。

(5) チモシーの分げつ密度維持の対策として、とくに草種間競争の影響を緩和するため、チモシーの生育を抑制しない混播相手マメ科牧草品種の利用やチモシー品種の競争力の改良による対応が可能である。

第Ⅶ章 要 約

本研究は、草地におけるチモシーの永続的な維持を可能にするため、草地の経年化に伴うチモシーの分げつ密度維持の機構と、分げつ密度維持を阻害する要因についてその影響の実態を明らかにし、それをもとにチモシーの分げつ密度をより長期に渡って維持するための具体的な方策を提示しようとした。得られた結果は以下のとおりである。

1. チモシーにおける分げつ密度維持の機構

(1) チモシー品種「ノサップ」、「ホクシュウ」を供試し、分げつ密度維持を左右する機構としての新旧分げつの季節的交代の様式を明らかにした。両品種とも、刈取り頻度にかかわらず、伸長茎の出現が年間で最も旺盛となる時期（北海道では6-7月。以下で述べる具体的な月も北海道での場合である）の刈取りの前後において、新旧の分げつ集団の大幅な交代が生じた。チモシーにおける分げつ密度の経年的な維持は、このような草種に固有の新旧分げつの季節的交代が円滑に進むことによって成立していた。

(2) 生育段階別分げつの構成内容における季節変化から、チモシーの分げつ集団の季節的生育過程は、6-7月の刈取後における発生から越冬前までの栄養生長を主体とする期間（a1）、6か月にも及ぶ越冬期間（a2）、主要な分げつの生育相が栄養生長から生殖生長に転換し、高い乾物生産を示す期間（a3）の3つに区分してとらえることができた。

(3) チモシー草地の生産性維持にのっての分げつ密度の適正水準は、採草利用（年間2回刈り）の場合1,500本/㎡程度以上、多回利用（年間5-6回刈り）では1,500-2,000本/㎡程度以上であった。

2. チモシーの分げつ密度維持を阻害する要因

(1) チモシー品種「ノサップ」、「ホクシュウ」を供試し、単播かつ適宜除草した条件で年間5-6回の刈取り（多回刈り）を行い、分げつ数の推移を調査した結果、両品種とも4年目までの調査期間中において欠株の発生は認められなかった。むしろ、多回刈りの方が年間2回刈り（採草利用）よりも分げつ密度は経年的に高い傾向で推移した。

(2) 一方、チモシー品種「ノサップ」、「キリタツプ」、「ホクシュウ」を供試し、シロクローバと混播した条件下において年間2回、4回、6回の異なる頻度の刈取りを適用した結果、いずれの品種においても利用頻度が高まるほどチモシーの被度と収量は減少し、シロク

ローバの被度と収量が増加した。

(3) したがって、草地におけるチモシーの分げつ密度の減少は、刈取りやその頻度の増加の直接的な影響というよりも、他草種が隣接して生育する環境下で生じる草種間競争の影響がより大きな要因であった。

(4) また、多回刈条件下において、チモシー「ホクシュウ」のシロクローバに対する競争力は、メドウフェスク「トモサカエ」と比べ劣っていた。競争力のイネ科草種間差異をもたらす要因として、とりわけ各イネ科草種に固有の生育段階別分げつの季節的消長のパターンの違いが重要であった。

(5) 土壤水分の不足（干ばつ）がチモシーの分げつ密度維持に及ぼす影響を検討した。その結果、1番草刈取期の前後において、降水不足が長期間続いた場合、チモシーは刈取後の再生が悪化し、2番草において枯死個体が発生することがあった。なお、枯死個体が発生しても、翌年にかけて適度な降雨があれば、分げつ密度や草地の牧草生産性は回復できた。

(6) 以上のことから、利用頻度、草種間競争、土壤水分の不足の3要因の中で、チモシーの分げつ密度維持を阻害する最も重要な要因は草種間競争であった。

(7) 他草種に対するチモシーの競争力が季節的に最も劣る時期は、新旧分げつの交代が最も旺盛となる時期（伸長茎出現盛期となる6-7月の刈取後）に該当する。また、土壤水分の不足（干ばつ）によるチモシーの分げつ密度の低下が最も見られやすい時期は、チモシーの競争力が最も劣る時期と一致し、伸長茎出現盛期となる6-7月の刈取後であった。

3. チモシーにおける分げつ密度維持の対策

(1) チモシーとマメ科牧草の混播栽培に当たっては、チモシーの生育を抑制しない品種の選定が、その分げつ密度維持において有効な対策の一つであった。

(2) 利用頻度にかかわらず、他草種との混生（競争）条件下において、チモシーの個体当たり分げつ数や欠株率に遺伝子型間差異が認められ、対照とした既存のチモシー品種と比べ、それらの減少程度の低い遺伝子型が多数認められた。このことから、既存品種より競争力に優れる品種の育成がチモシー草地における分げつ密度維持を図る対策として有効と期待される。

4. 結論

以上を総括すると、次の結論が得られた。

(1) チモシーの永続的維持は、チモシーに特有の新旧

分けつの季節的交代を確実に行わせ、それによって分けつ密度を維持していくことで成立する。

(2) チモシーの分けつ密度維持を最も阻害する要因は草種間競争であり、その阻害が最も認められやすい時期は新旧分けつの季節的交代の盛期（北海道では 6-7 月の刈取後）である。

(3) こうした阻害要因を回避するには、適正な混播相手マメ科牧草品種の選定やチモシー品種の競争力の改良といった対策が指摘できる。

(4) 現在のチモシーの遺伝的変異からみると、草種間競争力の改良は十分に可能である。

謝 辞

本研究を取りまとめるに当たり、酪農学園大学教授の松中照夫博士には論文の筋立てから作成に至るまで終始懇切なるご指導ならびにご激励を頂き、本稿のご校閲を賜った。酪農学園大学小阪進一博士、義平大樹博士には業務多忙の最中、貴重な時間を割いて本稿のご校閲と懇切なるご教示を頂いた。謹んで感謝申し上げます。

本研究の多くは北海道立根釧農業試験場、北海道立天北農業試験場、地方独立行政法人北海道立総合研究機構（以下道総研）上川農業試験場天北支場で実施したものであり、一部は道総研北見農業試験場で実施したものである。この間、根釧農業試験場長として在任された米田裕紀博士、裏悦次氏、同研究部長として在任された杉本亘之博士、天北農業試験場長として在任された川崎勉氏、同研究部長として在任された大村邦男博士、道総研上川農業試験場天北支場長として在任された竹田芳彦博士（現ホクレン農業協同組合連合会）、扇勉博士（現酪農学園大学）、同技術普及部長として在任された山川政明博士（現雪印種苗株式会社）、宮崎元氏、道総研北見農業試験場長として在任された品田裕二氏（現道総研中央農業試験場）、志賀弘行博士、同研究部長として在任された白井和栄氏、中津智史博士の諸氏には研究途上で多くのご指導とご激励を賜った。

元北海道立北見農業試験場牧草科長古谷政道博士、同下小路英男氏（現道総研本部）、同吉澤晃氏（現道総研上川農業試験場天北支場）の諸氏には、牧草の育種研究についてご指導を賜るとともに、多くの有益なご助言を頂いた。とくに下小路英男氏には、牧草育種を進める上で、その生理生態的特性の解明が不十分であることや分げつ交代の研究におけるサンプル採取の方法などについて有益なご助言を頂いた。元根釧農業試験場作物科長澤田嘉昭氏ならびに山川政明博士には、牧草の栽培利用に関する研究や草地の調査法などについてご指導を賜るとともに分げつ調査や草種間競争の研究を進める上で多くの便宜を図って頂いた。元北見農業試験場牧草科研究職員佐藤公一氏（現道総研上川農業試験場天北支場）には、根釧農業試験場で実施した多回刈り条件での草種間競争の研究に供試する材料の提供を頂いた。また根釧農業試験場作物科在任中に臨時職員として勤務された松尾スエ氏、高橋朋子氏、阿部純子

氏をはじめとする諸氏には、分げつ調査をはじめとし、暑さ寒さの厳しい中、圃場において様々な調査をお手伝い頂いた。

天北農業試験場管理科ならびに道総研上川農業試験場天北支場技術普及部在任中は、牧草の分げつ調査や干ばつが生育に及ぼす影響に関する研究を行うに際し、同僚の主査として在任された古館明洋氏、井内浩之氏、研究職員として在任された吉田昌幸氏（現道総研中央農業試験場）、新宮裕子博士（現道総研根釧農業試験場）、中村直樹氏（現道総研根釧農業試験場）、大塚省吾氏（現道総研北見農業試験場）、岡元英樹博士、農業技能員として在任された伊藤勉氏、笹木正志氏、久保田勝氏、松原哲也氏をはじめとする諸氏には研究実施のご理解を賜るとともに、圃場の管理や実験器具の使用、実験方法のご教示など多くの便宜を図って頂いた。道総研北見農業試験場作物育種グループ在任中は、草種間競争に関する研究の一部を実施したが、研究主幹として在任された島田尚典氏（現道総研上川農業試験場）、研究職員として在任された足利和紀博士ならびに田中常喜氏には研究実施のご理解と本稿の取りまとめに当たり多くの便宜を図って頂いた。さらに、臨時職員として勤務された高桑里美氏、窪田春枝氏には、圃場作業の準備や調査の助手として、また夏の炎天下におけるデータ収集などの場面において、多くのご尽力を賜った。

最後になるが、長期に及んだ論文執筆の期間中、家族や両親には多くの負担や心配を掛けたにもかかわらず様々な支援を頂いた。

以上の諸氏に心から感謝の意を表する。

引用文献

- 1) Briske, D. D. 2007. Chapter 7 Plant interactions. Forages the science of grassland agriculture Volume II. 6th edition (Barnes, R. F., Nelson, C. J., Moore, K. J., Collins, M. (eds)), 105-122. Blackwell Publishing. USA.
- 2) Casler, M. D. and R. L. Kallenbach. 2007. Chapter 14 Cool-season grasses for humid areas. Forages the science of grassland agriculture. Volume II. 6th edition (Barnes, R. F., Nelson, C. J., Moore, K. J., Collins, M. (eds)), 211-220. Blackwell Publishing. USA.
- 3) 中央畜産会. 1999. 農林水産省農林水産技術会議事務局編. 日本飼養標準. 乳牛 (1999 年版). 57-61. 農林水産省農林水産技術会議事務局. 東京.
- 4) Cooper, J. P. 1958. The effect of temperature and photoperiod on inflorescence development in strains of timothy (*Phleum* spp.). J. Br. Grassld. Soc., 13: 81-91.
- 5) Cooper, J. P. and D. M. Calder. 1964. The inductive requirement for flowering of some temperate grasses. J. Br. Grassld. Soc., 19: 6-14.
- 6) 江原 薫. 1954. 第 2 章チモシー (オオアワガエリ). 飼料作物学 (下巻). B 禾本科飼料作物. 30-71. 養賢堂. 東京.
- 7) 江原 薫, 山田芳雄, 前野休明, 1966. 牧草の再生に関する生理生態学的研究. 第 4 報 $C^{14}O_2$ 利用によるバヒアグラスの初期再生過程における貯蔵養分の利用の証明. 日草誌, 12: 1-4.
- 8) Emoto, T. and H. Ikeda. 1999. Appearance and development of tillers in herbage grass species. 1. Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Grassld. Sci., 45: 210-216.
- 9) Emoto, T. and H. Ikeda. 2005. Appearance and development of tillers in herbage grass species. 2. Timothy (*Phleum pratense* L.). Grassld. Sci., 51: 45-54.
- 10) Evans, M. W. 1934. Relation of length of day to growth of timothy. J. Agric. Res., 48: 571-586.
- 11) Firbank, L. G. and A. R. Watkinson. 1990. 9. On the effects of competition: From monocultures to mixtures. In: Perspectives on plant competition (Grace, J. B. and Tilman, D. (eds)), 165-192. Academic press, Inc. San Diego, USA.
- 12) 藤井弘毅, 古谷政道, 下小路英男, 中住晴彦, 1992. 模擬放牧条件下におけるチモシーの品種・系統間変異. 北草研報, 26: 76-80.
- 13) 藤井弘毅, 山川政明, 澤田嘉昭, 牧野 司, 2002. シロクローバ (*Trifolium repens* L.) 混播・多刈り条件下におけるチモシー (*Phleum pratense* L.) およびメドウフェスク (*Festuca pratensis* Huds.) の乾物収量の差異と関連形質. 日草誌, 48: 27-36.
- 14) 藤井弘毅, 2009. チモシー (*Phleum pratense* L.) 品種の新旧分けつの季節的交代と各番草の収量構成分けつの発消生長. 日草誌, 55: 206-216.
- 15) 藤井弘毅, 松原哲也, 2010. ガレガ (*Galega orientalis* Lam.) 単播・経年草地において秋の刈取時期が翌年の生育に及ぼす影響とシュートの発生・成長様式との関係. 日草誌, 56: 119-125.
- 16) 藤井弘毅, 吉田昌幸, 新宮裕子, 中村直樹, 2011. 道北地方の寡雨年の降水を模した灌水がチモシー (*Phleum pratense* L.) 経年個体の生育に及ぼす影響. 日草誌, 57: 142-150.
- 17) 藤巻 宏. 2003. 第 15 章 選抜系統の特性検定. 植物育種原理. 246-257. 養賢堂. 東京.
- 18) 福岡由佳, 西脇亜也, 菅原和夫, 1998. クローン構造とクローン拡大速度から推定したシバムギの採草地への侵入・優占過程. 日草誌, 44 (別): 74-75.
- 19) 福山正隆, 嶋村匡俊, 牛山正昭, 及川棟雄, 1984. 短草型草地の特性の解明. II. 短草型及び長草型草地の形成過程の解析. 草地試験場研究報告, 28: 96-107.
- 20) 古谷政道, 増谷哲雄, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄, 1983a. 生育温度の違いがチモシー品種の生育と乾物消化率に及ぼす影響. 北海道立農業試験場集報, 49: 1-11.
- 21) 古谷政道, 増谷哲雄, 樋口誠一郎, 筒井佐喜雄, 1983b. チモシー品種の生育と乾物消化率に及ぼ

- す土壌水分の影響. 北海道立農業試験場集報, 50: 13-24.
- 22) 古谷政道, 増谷哲雄, 筒井佐喜雄, 1994. チモシー(*Phleum pratense* L.)品種の生育と乾物消化率に及ぼす低日射ストレスの影響. 日草誌, 40: 157-164.
- 23) 古谷政道, 筒井佐喜雄, 1996. チモシー(*Phleum pratense* L.)品種の生育と *in vitro* 乾物消化率に及ぼす地下水ストレスの影響. 日草誌, 42: 68-72.
- 24) 古谷政道, 下小路英男, 中住晴彦, 藤井弘毅, 1996. チモシー(*Phleum pratense* L.)品種の種子収量と関連形質. 日草誌, 42: 255-259.
- 25) Garwood, E. A. 1969. Seasonal tiller populations of grass and grass/clover swards with and without irrigation. J. Bri. Grassl. Soc., 24: 333-344.
- 26) 後藤寛治, 1984. II. 飼料作物の種類. 4. イネ科牧草 (その1. 寒地型). (1) チモシー. 飼料作物学. 32-35. 文永堂出版. 東京.
- 27) 後藤雄佐, 中村貞二, 2002. I. 植物生態学実験. 2. 作物の生育調査とその解析法. 改訂第3版新農学実験マニュアル(羽柴輝良・金浜耕基(編)). 10-20. 株式会社ソフトサイエンス社. 東京.
- 28) 東田修司, 高尾欽弥, 坂本宣崇, 1985. 個体密度の異なるオーチャードグラス草地の収量推移と窒素反応性. 北海道立農業試験場集報, 52: 1-11.
- 29) Hill, M. J. and E. R. Watkin. 1975. Seed production studies on perennial ryegrass, timothy and prairie grass. I. Effect of tiller age on tiller survival, ear emergence and seedhead components. J. Br. Grassl. Sci., 30: 63-71.
- 30) 日向康吉, 羽柴輝良(編). 1995. 植物生産農学実験マニュアル. 288-293. ソフトサイエンス社. 東京.
- 31) 平島利昭(編監修). 1982. 北海道の牧草栽培技術—基礎編—. 103-115, 157-164. 農業技術普及協会. 江別.
- 32) Hodgson, J. G. 1990. Grazing management: science into practice. 6-24. Longman Group UK, Ltd., England.
- 33) 北海道農業研究センター. 2002. 持続性に優れた地下茎型マメ科牧草ガレガ. <http://cryo.naro.affrc.go.jp/seika/h13/cryo225.html> [2012年3月11日参照].
- 34) 北海道農政部. 1982. 昭和57年指導参考 植生からみた根室地方の採草地における更新指標. <http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/S58gaiyo/1982244.htm> [2012年8月31日参照].
- 35) 北海道農政部. 2010a. V-1 牧草. 北海道施肥ガイド 2010 (施肥標準・診断基準・施肥対応). 189-214. 北海道農政部. 札幌.
- 36) 北海道農政部(監修). 2010b. 土づくり技術情報「総括編」. 47-52. 北海道農協「土づくり」運動推進本部. 札幌.
- 37) 北海道立根釧農業試験場. 1995. 根釧地域における熟期別チモシー品種に対応したマメ科牧草との採草型組合せ. http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/seikajoho/h07s_joho/h0700083.htm [2012年1月24日参照].
- 38) 北海道立根釧農業試験場. 1998. チモシー基幹草地の集約放牧技術と牛乳の栄養成分. http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/seikajoho/h10s_joho/h1000044.htm [2011年12月23日参照].
- 39) 北海道, 道立農業・畜産試験場. 2006. 草地の簡易更新マニュアル. 1-38. 社団法人北海道草地協会. 札幌.
- 40) 宝示戸雅之, 坂本宣崇, 高尾欽弥, 1981. 天北地方のオーチャードグラス主体草地における気象要因と牧草生産. 北農, 48: 1-10.
- 41) 本江昭夫, 1995. 寒地型の多年生雑草シバムギ(*Agropyron repens*)の草地における繁殖特性に関する研究. 雑草研究, 40: 157-162.
- 42) 五十嵐弘昭, 2001. 特集. サイレージの飼料価値を高める調製と利用システム. 経済性を高めるためのサイレージ調製とその利用. 日草誌, 47: 544-552.
- 43) 飯田憲司, 出口健三郎, 原 仁, 2009. 十勝管内における草地の植生調査に関する報告. 北草研報, 43: 44.
- 44) 石田良作, 1973. 牧草群落における競争. 農業技術, 28: 445-449.
- 45) 石田良作, 1975. 人工草地の植生構造. 第5報 施肥量と刈取回数を異にした数種イネ科牧草地の面積当り茎数の推移および茎数と収量の関係について. 日草誌, 21: 47-51.
- 46) 石田良作, 1978. 人工草地の植生構造. VI. 数種

- イネ科牧草地における個体密度の変化および刈株の分散状態. 日草誌, 24 : 154-161.
- 47) 伊藤 巖. 1980. 草地農学 (山根一郎・伊藤 巖・岩波悠紀・小林裕志 (共著)). 71-76. 朝倉書店. 東京.
- 48) 伊藤 巖, 熊井清雄, 飯田克美, 源馬琢磨, 広田秀憲, 上野雅彦. 1989. 第3章 飼料作物の栽培. 2. 飼料作物の栽培法. 粗飼料草地ハンドブック. 345-357. 養賢堂. 東京.
- 49) 伊藤憲治, 菊池晃二, 1996. 天北地域泥炭草地の地下水位, 土壤理化学性および牧草生産性の実態. 第1報 地下水位と牧草生産性. 北農, 63:153-160.
- 50) 伊藤憲治, 1997. 天北地域泥炭草地の地下水位, 土壤理化学性および牧草生産性の実態. 第3報 土壤の三相分布および保水力. 北農, 64:245-252.
- 51) 伊藤操子. 2006. III. 雑草害. 雑草学総論. 126-177. 養賢堂. 東京.
- 52) 伊東睦泰, 中村民夫, 1975. 刈取頻度を異にするオーチャードグラス草地における茎数の季節変化と時期別にみた出現分けつの消長. 日草誌, 21 : 1 - 8.
- 53) 伊東睦泰, 大野泰弘, 遠山修自, 1989. オーチャードグラス草地における時期別の分けつの発生・消長とその草地生産にはたす役割. 日草誌, 34 : 247-256.
- 54) 伊東睦泰, 小林清四郎, 徳重英明, 村木尚司, 徳高富士夫, 1990. リードカナリーグラス (*Phalaris arundinacea* L.) 草地における分けつの発生・生長の動態. 日草誌, 35 : 279-285.
- 55) 伊東睦泰. 1996. 新編畜産学大辞典. 1. 飼料作物の種類と生産機構. E. 飼料作物群落の生態. (1) イネ科牧草の分けつの動態. 田先威和夫監修. 261-264. 養賢堂. 東京.
- 56) Ito, M., Y. Shimizu, H. Yamamoto, M. Ito and T. Toyoda. 1997. Seasonal trend of tiller emergence and senescence in several temperate herbage grasses grown under sward conditions. Grassl. Sci., 43 : 7-13.
- 57) 伊藤亮一. 1994. 5.3 作物の生長に対する水ストレスの影響. 植物生産生理学 (石井龍一編). 118-127. 朝倉書店. 東京.
- 58) 岩渕 慶, 大塚博志, 我有 満, 堀川 洋, 藤井弘毅, 牧野 司, 井内浩幸, 中村克巳, 田川雅一, 2004. マメ科牧草ガレガ (*Galega orientalis* Lam.) の北海道における適応性. 日草誌, 50 : 285 - 293.
- 59) 岩渕 慶, 我有 満, 堀川 洋, 2007. ガレガ (*Galega orientalis* Lam.) のチモシー (*Phleum pratense* L.) との混播適性. 日草誌, 53 : 221-226.
- 60) 岩渕 慶, 我有 満, 堀川 洋, 2011. ガレガ (*Galega orientalis* Lam.) とチモシー (*Phleum pratense* L.) の混播・単播草地における経年変化. 日草誌, 56 : 233-237.
- 61) 岩城英夫. 1973. 第4章 草原の群落構造と機能. 生態学講座6 陸上植物群落の物質生産Ⅱ 一草原一. 49-72. 共立出版株式会社. 東京.
- 62) Jewiss, O. R. 1972a. Tillering in grasses - Its Significance and control. J. Br. Grassld. Soc., 27 : 65-81.
- 63) Jewiss, O. R. 1972b. Chapter 11 Perenniality and senescence. In: Grass and Legumes in British Agriculture (Spedding, C. R. W. and Diekmahns, E. C. (eds)), 73-84. Commonwealth Agriculture Bureau (CAB). England.
- 64) 景山あさ子, 杉山修一, 中世古公男, 1989. チモシーにおける競争力の品種間差異. 育種・作物学会北海道談話会会報, 29 : 2.
- 65) 菅野一郎 (編). 1962. 日本の土壌型. 一その生成・性質・研究法一. 133-140. 社団法人農山漁村文化協会. 東京.
- 66) 加納春平, 佐藤康夫, 手島茂樹, 高橋 俊, 名田陽一, 平島利昭, 1995. 放牧と採草を組み合わせた草地の輪換利用による高位生産. 北海道農業試験場研究報告, 161 : 57-66.
- 67) 河野昭一, 高田壯則, 大原 雅 (共訳). 1992. 植物の個体群生態学 (第2版) (Silvertown, J. W. 著). 1-10, 56-83, 118-132. 東海大学出版会. 東京.
- 68) 川田純充, 松中照夫, 1998. イネ科牧草の窒素栄養と1番草乾物生産における草種間差異. 日草誌, 44 : 80-85.
- 69) 岸 洋, 1974. イネ科牧草とマメ科牧草の競合に関する研究. 第3報 オーチャードグラスとラジノクローバーの混播草地における両草種の生育に及ぼす刈取回数の影響. 日作紀, 43 : 498-504.
- 70) 木曾誠二, 菊池晃二, 1988. チモシー (*Phleum pratense* L.) を基幹とする採草地におけるマメ科草混生割合に基づいた窒素施肥量. 日草誌, 34 : 169-177.

- 71) 木曾誠二, 菊池晃二, 1990. チモシー (*Phleum pratense* L.) を基幹とする採草地の窒素施肥配分に関する研究. I. 窒素施肥配分がチモシー品種の乾物収量に及ぼす影響. 日草誌, 35: 293-301.
- 72) 木曾誠二, 菊池晃二, 1991. チモシー (*Phleum pratense* L.) を基幹とする採草地の窒素施肥配分に関する研究. II. 窒素施肥配分がチモシーとマメ科草混播草地の乾物収量に及ぼす影響. 日草誌, 36: 338-346.
- 73) 木曾誠二, 菊池晃二, 能代昌雄, 片山正孝, 1992. チモシー (*Phleum pratense* L.) 晩生品種「ホクシュウ」とマメ科草の混播草地における収量および草種構成の推移. 日草誌, 38: 71-79.
- 74) 木曾誠二, 能代昌雄, 1994. チモシー (*Phleum pratense* L.) 採草地の早刈り管理法. 1. 早刈りが単播草地の乾物収量, 可消化養分総量および雑草侵入に及ぼす影響. 日草誌, 39: 429-436.
- 75) 木曾誠二, 能代昌雄, 1997. チモシー (*Phleum pratense* L.) 採草地の早刈り管理法. 2. 早刈りがチモシー・シロクローバ (*Trifolium repens* L.) 混播草地の草種構成, 乾物収量および可消化養分総量に及ぼす影響. 日草誌, 43: 258-265.
- 76) 黒岩澄雄. 1972. 作物の光合成と物質生産 (戸荻義次 (監修)). 251-261. 養賢堂. 東京.
- 77) Lambert, D. A. 1966. The effect of cutting timothy (*Phleum pratense* L.) grown for production of seed. J. Br. Grassl. Soc., 21: 208-213.
- 78) Lambert, D. A. and O. R. Jewiss. 1970. The position in the plant and the dates of origin of tillers which produce inflorescences. J. Br. Grassl. Soc., 25: 107-112.
- 79) Langer, R. H. M. 1956. Growth and nutrition of timothy (*Phleum pratense* L.). I. The life history of individual tillers. Ann. Appl. Biol., 44: 166-187.
- 80) Langer, R. H. M. 1957. Growth and nutrition of timothy (*Phleum pratense* L.). II. Growth of the plant in relation to tiller development. Ann. Appl. Biol., 45: 528-541.
- 81) Langer, R. H. M. 1958a. A study of growth in swards of timothy and meadow fescue. II. The effect of cutting treatments. J. Agric. Sci., 56: 273-281.
- 82) Langer, R. H. M. 1958b. Changes in the tiller population of grass swards. Nature, 182: 1817-1818.
- 83) Langer, R. H. M. 1963. Tillering in Herbage Grasses. Herbage abstracts, 33: 141-148.
- 84) 前野休明, 江原 薫, 1970. 牧草の再生に関する生理生態学的研究. 第12報刈株の諸形質と再生との関係についての考察. 日草誌, 16: 149-155.
- 85) 丸山純孝. 1985. DAIRYMAN 臨時増刊号. 最新飼料作物のすべて (栽培と調製の新情報). 吉田則人・飯田克実 (監修). 66-78. デイリーマン社. 札幌.
- 86) 松本武彦, 木曾誠二, 松中照夫, 能代昌雄, 寶示戸雅之, 1997. チモシーを基幹とする採草地に対する施肥改善効果. 日本土壤肥科学雑誌, 68: 448-452.
- 87) 松中照夫, 小関純一, 1983. チモシーの2番草生育に及ぼすN・P・K供給時期の影響. 日本土壤肥科学雑誌, 54: 137-142.
- 88) 松中照夫, 小関純一, 松代平治, 赤城仰哉, 西陰研治, 1983. 経年化に伴う草地生産力の土壌間差異. 日草誌, 29: 212-218.
- 89) 松中照夫, 小関純一, 1984. 刈取前後のN供給時期がチモシーの2番草生育に及ぼす影響. 日本土壤肥科学雑誌, 55: 449-454.
- 90) 松中照夫, 小関純一, 松代平治, 赤城仰哉, 西陰研治, 1984. 収量規制要因としての草種構成の重要性. 日草誌, 30: 59-64.
- 91) 松中照夫, 1987. 寒冷・寡照地域のチモシー草地に対する窒素施肥法に関する研究. 北海道立農業試験場報告, 62: 1-72.
- 92) 松中照夫, 木曾誠二, 能代昌雄, 1991. チモシー草地に対する効率的窒素施肥配分. 日本土壤肥科学雑誌, 62: 115-121.
- 93) Matsunaka, T., T. Ishii and M. Jin. 1997. Nitrogen in stubble as a limiting factor of regrowth and yield of orchardgrass after cutting. Proceedings of 18th international grassland congress, Vol. 1, Session 10: 9-10.
- 94) 松中照夫. 2005. 土壌学の基礎 生成・機能・肥沃土・環境. 80-93. 農文協. 東京.
- 95) 松中照夫, 川田純充, 2007. 草地の乾物生産からみた基幹草種としてのチモシーの優位性. 北草研報, 41: 45.
- 96) 松中照夫, 2009. 草づくりー理論と実際①「土づくり, 草づくり, 牛づくり」ー酪農の原点に戻ろ

- うー. 酪農ジャーナル 2009, 4 : 60-61.
- 97) 松浦朝奈, 下田代智英, 稲永 忍. 1998. 6. 1 土壌の物理性と根の生育. a. 土壌の乾燥と根. 根の事典 (根の事典編集委員会 (編)). 228-230. 朝倉書店. 東京.
- 98) 三木直倫, 高尾欽弥, 西宗 昭, 1986. 天北地方重粘土草地の生産力と気象, 土壌水分特性の関係. 北海道立農業試験場集報, 54 : 21-30.
- 99) 三木直倫, 1988. 干ばつ発生地帯における牧草栽培と今後の問題点. 北草研報, 22 : 39-48.
- 100) 三木直倫, 東田修司, 宝示戸雅之, 山上正弘, 西宗昭, 高尾欽弥, 1990. 天北地方鉾質重粘土草地の水分供給からみた収量規制要因とその改善策. 日本土壌肥科学雑誌, 61 : 526-530.
- 101) 三浦康雄, 2005. 牧草収穫のポイント①収量・栄養的損失をどう抑えるか. 圃場状態に合わせた細かな配慮を. DAIRYMAN2005, 6 : 78-79.
- 102) 水野直治, 南 松雄, 1980. 硫酸一過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 日本土壌肥科学雑誌, 51 : 418-420.
- 103) 村岡裕由. 2006. 2 章 雑草の生理生態—光合成のための資源の獲得と利用. 雑草生態学. 12-41. 朝倉書店. 東京.
- 104) 村山三郎, 1990a. 北海道の牧草地における雑草の生態的防除に関する研究. 雑草研究, 35 : 221-230.
- 105) 村山三郎. 1990b. IV. 草地の造成と管理. 3. 草地の維持管理. 草地学. 208-227. 文永堂出版. 東京.
- 106) 森 仁志. 2007. 9 章 生長を続けるためのしたたかな戦略. 植物の生存戦略 (「植物の軸と情報」特定領域研究班 (編)). 185-209. 朝日新聞社. 東京.
- 107) 中島和彦, 竹田芳彦, 堤 光昭, 1996. 根釧地域における早晚性の異なるチモシー品種に対応したマメ科牧草との採草組合せ. 北農, 63 : 182-185.
- 108) 中島和彦, 1996a. シロクロバ新品種「RIVENDEL (リベンデル)」. 北農, 63 : 91.
- 109) 中島和彦, 1996b. シロクロバ新品種「TAHORA (タホラ)」. 北農, 63 : 92.
- 110) 中條博良. 1976. 第 2 編作物の花成. 第 2 章春化現象. 作物 —その形態と機能— 上巻. (北條良夫・星川清親 (共編)). 77-94. 農業技術協会. 東京.
- 111) 中辻敏朗, 松中照夫, 木曾誠二, 2005. オーチャードグラスの 2 番草および 3 番草生育に重要な水分供給時期. 日本土壌肥科学雑誌, 76 : 169-174.
- 112) 中辻敏朗, 2008. 北海道北部重粘土草地の牧草生産性に対する低水分ストレスの影響評価に関する研究. 北海道立農業試験場報告, 119 : 1-49.
- 113) 名田陽一, 江原 薫, 1970. 牧草の再生に関する生理生態学的研究 第 17 報 数種イネ科牧草の生育段階別再生量と株・根の化学成分および分けつとの関係. 日草誌, 16 : 254-262.
- 114) 根本正之, 1990. 栽培技術の変遷に伴う雑草群落の変化 —牧草地—. 雑草研究, 35 : 317-324.
- 115) 根本正之, 是永博基, 山中良忠, 1992. 生育空間の経常の違いと隣接する牧草の種類がエゾノギシギシの生育に及ぼす影響. 雑草研究, 37 : 41-50.
- 116) 根本正之. 1997. 第 5 章 人工草地のギャップ特性と侵入雑草の生育型戦略. 雑草の自然史 (たぐましの生態学) (山口裕文 (編著)). 62-75. 北海道大学図書刊行会. 札幌.
- 117) 根本正之, 1998. 草地における侵入雑草の生育型戦略の解明と雑草害診断に関する研究. 雑草研究, 43 : 175-180.
- 118) 根本正之. 2006a. 5 章 雑草群落の動態と遷移. 雑草生態学 (根本正之 (編著)). 93-127. 朝倉書店. 東京.
- 119) 根本正之. 2006b. 7 章 半自然生態系の特性とその雑草診断. 雑草生態学 (根本正之 (編著)). 153-170. 朝倉書店. 東京.
- 120) 西谷和彦, 島崎研一郎 (監訳). 2004. テイツ ; ザイガー植物生理学第 3 版 (L. テイツ/E. ザイガー (編)). 601-612. 培風館. 東京.
- 121) 沼田 真, 吉沢長人 (編). 1978. 新版日本原色雑草図鑑. 8-13. 全国農村教育協会. 東京.
- 122) 農林水産省北海道農業試験場. 1999. メドウフェスクの集約放牧適性. 農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター. 札幌. <http://cryo.naro.affrc.go.jp/seika/h11/cryo99089.html> [2011 年 7 月 2 日参照]
- 123) 農林水産省農蚕園芸局農産課・日本土壌肥科学会 (監修). 1991. 日本の耕地土壌の実態と対策. 新訂版 (土壌保全調査事業全国協議会 (編)). 259-270. 博友社. 東京.
- 124) 能代昌雄, 袴田共之, 平島利昭, 能勢公, 小関純一, 松中照夫, 1978. 根釧地方における放牧草地の管理方法が植生と採食性に及ぼす影響. 北草研報, 12 : 83-86.

- 125) 能代昌雄, 平島利昭, 1978. 牧草の耐凍性に関する研究. I. 北海道根釧地方におけるイネ科牧草の凍害と雪腐大粒菌核病害. 日草誌, 23: 289-294.
- 126) 能代昌雄, 小関純一, 平島利昭, 1979. 放牧利用を前提とした場合のチモシー品種の混播適性. 北草研報, 13: 67-69.
- 127) 能代昌雄, 小関純一, 平島利昭, 1981. 根釧地方の混播放牧草地におけるチモシー品種の収量と競合力の比較. 北海道立農業試験場集報, 46: 22-29.
- 128) 能代昌雄, 1982. 冠氷下における牧草の耐氷性. 日草誌, 28: 339-341.
- 129) 能代昌雄, 宝示戸雅之, 早川嘉彦, 1989. 根釧地方における放牧草地の草種構成と収量との関係. 北草研報, 23: 27-29.
- 130) 落合一彦. 1997. 第2章 新しい放牧技術. 未来を拓く酪農経営 放牧のすすめ. 29-46. 酪農総合研究所. 札幌.
- 131) 尾形昭逸, 実岡寛文, 松本勝士, 1985. 暖地型飼料作物の水ストレス耐性機構の解析. I. 圃場条件下における水ストレス耐性の草種間差. 日草誌, 31: 34-42.
- 132) 岡元英樹, 古館明洋, 2011. 天北地方における2番草の利用・飼料成分等の実態調査からみた問題点とその解決策. 2. 収量や飼料成分等からみた2番草の実態. 北農, 78: 266-271.
- 133) Okamoto, H, K. Ishii and P. An. 2011. Effects of soil moisture deficit and subsequent watering on the effect of four temperate grasses. Grassl. Sci., 57: 192-197.
- 134) 奥村健治. 2009. 特集: 飼料作物の品種育成の最近の動向 9. マメ科牧草の有望品種について. 飼料増産広報誌グラス&シード 第24巻. 44-48. 社団法人日本草地畜産種子協会. 東京.
- 135) 奥村健治, 松村哲夫, 高田寛之, 我々満, 廣井清貞, 磯部祥子, 林拓, 牧野司, 出口健三郎, 佐藤尚親, 山川政明, 岩渕慶, 大塚博志, 安達美江子, 2012. 寒さに強く, イネ科牧草に優しい放牧用小葉型シロクローバ新品種「北海1号」. 北農, 79: 60-64.
- 136) 大原雅. 2010. 植物の生活史と繁殖生態学. 19-78. 海游舎. 東京.
- 137) 大久保忠旦. 1984. III. 飼料作物の栽培と生理・生態. 3. 飼料作物の混播, 混作. 飼料作物学. 128-141. 文永堂出版. 東京.
- 138) 大久保忠旦. 1990. I. 草地と草地学. 1. 草地と草地学. 草地学. 1-16. 文永堂出版. 東京.
- 139) 大村邦男, 赤城仰哉, 1985. 採草地における植生推移と土壌養分環境の関連性について. 北海道立農業試験場集報, 53: 33-42.
- 140) 大下友子, 大塚博志, 西野一, 鷹取雅仁, 五十嵐弘昭, 野中和久, 名久井忠, 1998. マメ科草の混播による牧草サイレージの栄養価の改善が泌乳最盛期の乳牛の採食量, 泌乳量に及ぼす影響とその経済性. 日草誌, 44: 54-60.
- 141) 大塚省吾, 中辻敏朗, 木曾誠二, 2000. チモシーの2番草生育に及ぼす水分供給時期の影響. 日本土壤肥料学会講演要旨集, 46: 254.
- 142) 小柳敦史. 1998a. 2. 2根の重力屈性と内外の要因. d. 根の重力屈性と水. 根の事典(根の事典編集委員会(編)). 64-65. 朝倉書店. 東京.
- 143) 小柳敦史, 1998b. 深さの定量化による作物根系の新しいとらえかた. 日作紀, 67: 3-10.
- 144) 尾崎政春, 1979. オーチャードグラス雪腐病大粒菌核病の発生生態. 北海道立農業試験場集報, 42: 55-65.
- 145) 龍前直紀, 北村亨, 谷津英樹, 壺岐修一, 篠田英史, 三輪哲哉, 高山光男, 2010. 草地管理技術の改善によるグラスサイレージ品質の向上に関する調査研究と普及推進. 北草研報, 44: 6-11.
- 146) 三枝俊哉, 木曾誠二, 能代昌雄, 1993. チモシー基幹草地の早刈りによる植生変化とその対策. 北農, 60: 54-56.
- 147) 三枝俊哉, 2010. 草作りー理論と実際②放牧草地のための肥培管理(その2)ー基幹草種に対応した放牧管理ー. 酪農ジャーナル2010, 3: 60-61.
- 148) 酒井寛一. 1973. 第6章 競争と逃げ出し. 6. 1競争の追求. 生態学講座26 生態遺伝学. 71-79. 共立出版. 東京.
- 149) 酒井治, 寶示戸雅之, 三木直倫, 三枝俊哉, 2004. チモシー・シロクローバ混播草地の集約放牧条件における施肥量低減. 日本土壤肥料学雑誌, 75: 711-714.
- 150) 酒井治, 牧野司, 出口健三郎, 沓澤淳, 舟橋直人, 石田亨, 坂下勇一, 2011. 根釧管内におけるチモシー主体草地の植生実態と変動要因の解析 1. 更新後経過年数と植生の関係. 北草研報, 45: 55.
- 151) 酒井治, 2012. 根釧地域における草地更新時の植生悪化要因. 雪たねニュース, 343: 2-3.
- 152) 桜谷哲夫. 2004. 39. 気象災害. 干害. 新編農学

- 大事典 (山崎耕宇・久保祐雄・西尾敏彦・石原 邦 (監)). 1336-1340. 養賢堂. 東京.
- 153) 佐藤 庚, 西村 格, 伊東睦泰, 1967. 草地の密度維持に関する生態生理学的研究. 第4報 土壌湿度と刈取りの高さがイネ科-マメ科混播草地の収量と草種比率に及ぼす影響. 日草誌, 13 : 122-127.
- 154) 佐藤 庚. 1979. II. 飼料作物の生長と草地管理の基本. (3) 再生. 飼料作物栽培の基礎. 58-68. (社) 農山漁村文化協会. 東京.
- 155) 佐藤 庚. 1984. III. 飼料作物の栽培と生理・生態. 8. 再生. (2) 刈取法と再生. 飼料作物学. 192-201. 文永堂出版. 東京.
- 156) 佐藤尚親. 2012. 3. 草地の雑草. 3) 雑草防除法. 自給飼料を上手に使う (肉牛経営のための自給飼料生産利用マニュアル). 29-33. 社団法人北海道酪農畜産協会. 札幌.
- 157) 澤田 均, 高橋哲也, 津田周彌, 1985. 人工草地造成初期におけるチモシーの個体群動態. 日草誌, 31 : 192-202.
- 158) 関塚清蔵. 1963. 作物大系 第12編 牧草類. I. イネ科牧草の生態的特徴. 第3章 生育過程. 13-23. 養賢堂. 東京.
- 159) Sheard, R. W. 1968. Influence of defoliation and nitrogen on the development and the fructan composition of the vegetative reproductive system of timothy (*Phleum pratense* L.). Crop Sci. , 8 : 55-60.
- 160) 嶋田 徹. 1990. IV. 草地の造成と管理. 2. 草地の生産管理. (3) 草地の利用管理. 草地学. 203-206. 文永堂出版. 東京.
- 161) 杉田紳一. 2004. 新編農学大事典 (山崎耕宇・久保祐雄・西尾敏彦・石原 邦 (監修)). 597-603. 養賢堂. 東京.
- 162) Sugiyama, S. , M. Kataoka, N. Takahashi and K. Gotoh. 1985. The relationship between reproductive and vegetative growth in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and meadow fescue (*F. pratensis* Huds.). J. Japan. Grassl. Sci. , 31 : 16-25.
- 163) 杉山修一, 高橋直秀, 1985. トールフェスクにおける分げつサイズの適応的意味. 育種・作物学会北海道談話会報, 25 : 54.
- 164) 杉山修一. 1987. 6. 牧草の集団分化. 草地の生産生態 (後藤寛治 (編)). 347-384. 文永堂. 東京.
- 165) Sugiyama, S. 1999. Genetic variation in the relative dominance of mixed swards : potential influence and its mechanism. Grassl. Sci. , 44 : 303-309.
- 166) 田嶋公一, 秋田重誠, 清水矩宏, 1976. トールフェスクおよびペレアニルライグラスの生育と水分代謝に対する高地温の影響. 日草誌, 22 : 256-260.
- 167) 高橋 俊, 名田陽一, 佐藤康夫, 加納春平, 手島茂樹, 1995. 草地利用法の変換による植生制御. 北海道農業試験場研究報告, 161 : 47-56.
- 168) 高山光男, 2011a. シリーズ草地更新を考える② 地下茎型イネ科雑草は更新前に除草剤で退治する. 雪たねニュース, 340 : 4-5.
- 169) 高山光男, 2011b. 草地の現状と草地更新. ぐらーす, 55 巻第2号 : 10-13.
- 170) 高柳 繁. 2006. 4章 作物と雑草の相互作用系. 雑草生態学 (根本正之 (編著)). 69-92. 朝倉書店. 東京.
- 171) 武田和義. 1993. 7. 育種目標. 植物遺伝育種学. 148-170. 裳華房. 東京.
- 172) 竹田芳彦, 1981. イネ科牧草における再生分げつの種類とその量的割合の推移. 北草研報, 15 : 51-54.
- 173) 竹田芳彦, 2004. 自力更新を支える技術として重要性が高まる簡易方式. 北海道にみる草地更新の現状. DAIRYMAN2004, 4 : 74-75.
- 174) 田中典幸 (訳), 1981. 第5章 根系と水. 作物の根系と土壌 (R. S. ラッセル著). 121-150. (社) 農山漁村文化協会. 東京.
- 175) 田中 修. 2003. ふしぎの植物学. 55-60. 中央公論新社. 東京.
- 176) 田崎忠良 (監修). 1986. P. J. Kramer 著. 水環境と植物. 83-119. 養賢堂. 東京.
- 177) 坪井八十二, 根本順吉, 1976. 異常気象と農業. II. 干害. 122-172. 朝倉書店. 東京.
- 178) 露崎史郎. 2008. 第1章 攪乱と植物群集. 攪乱と遷移の自然史 (「空き地」の植物生態学) (重定南美子・露崎史郎 (編著)). 3-15. 北海道大学出版会. 札幌.
- 179) Vallentine, J. F. 1990. Grazing management. 20-54. Academic press inc. San Diego, USA.
- 180) Virkajärvi, P. , K. Pakarinen, M. Hyrkäs, M. Seppänen and G. Bélanger. 2012. Tiller

characteristics of timothy and tall fescue in relation to herbage mass accumulation. Crop Sci. , 52 : 970-980.

- 181) 脇本 隆, 1971. チモシーの分けつおよび根の発生過程とその実用的考察. 北農, 38 : 26-32.
- 182) 脇本 隆, 1980. 混播牧草の草種構成に関する研究. 北海道立農業試験場報告, 31 : 1-80.
- 183) 鷲谷いづみ, 矢原徹一. 1996. 5. 生物多様性の生態的根拠—競争排他に抗する原理—. 保全生態学入門. 107-128, 181. 文一総合出版. 東京.
- 184) Williams, R. D. D. 1970. Tillering in grass cut for conservation with special reference to perennial ryegrass. Herbage Abstracts, 40 : 383-388.
- 185) 八木隆徳, 目黒良平, 福田栄紀, 1990. シバムギ, リードカナリーグラス, ケンタッキーブルーグラスにおける地下茎の拡散能力. 日草誌, 45 (別) : 224-225.
- 186) 山根一郎, 伊藤 巖, 岩波悠紀, 小林裕志 (共著). 1980. 草地農学. 58-60. 朝倉書店. 東京.
- 187) 谷津英樹, 2010. 草地の雑草対策～除草剤散布の留意点～. 雪たねニュース, 333 : 2-3.
- 188) 吉田重治. 1976. 第II編 草地改良論. 第3章 草地改良と群落構造. 草地の生態と生産技術. 100-176. 養賢堂. 東京.
- 189) 吉山武敏, 藤本文弘. 1989. 第1章 飼料作物・野草の種類・育種・採種. 2. イネ科牧草. 2. 2 チモシー. 粗飼料・草地ハンドブック (高野信雄・佳山良正・川鍋裕夫 (監修)). 41-45. 養賢堂. 東京.
- 190) 吉澤 晃, 佐々木絃一, 1980. チモシーにおける収量構成分けつの推移. 北草研報, 14 : 72-73.

Summary

This study attempted to clarify mechanisms to maintain tiller density of timothy (*Phleum pratense* L.) in swards with years and factors regulating to keep the tiller density for as long as possible. Based on the results from the study, I suggested two good practices to maintain the tiller density that can contribute to sustain grass production in the timothy swards for a long time. The results from the study are as follows;

1. Mechanisms to maintain tiller density of timothy

(1) The seasonal change pattern from the old tiller population into the new one, and its influence on keeping timothy tiller density in the sward, was clarified using the timothy cultivars Nosappu and Hokushu. In both cultivars, regardless of cutting frequency, a considerable generation change in tillers was observed around the time of cutting in June or July (in the case of Hokkaido, Japan), in which the greatest increase in the number of internode-elongated tillers appeared usually. This species-specific seasonal generation change in tillers contributed greatly to maintain the tiller density of timothy in the swards.

(2) The seasonal growth pattern of timothy tillers could be divided into 3 terms as follows: a1, the term wherein many new tillers emerge after the cutting in June or July and continue to grow as vegetative tillers until wintering; a2, a wintering term that lasts for 6 months in Hokkaido; and a3, the term when most tillers change their growth phase from vegetative to reproductive and show high dry matter production.

(3) The optimal tiller density of timothy to maintain grass production in the swards was approximately more than 1,500 tillers/m² in sward for making hay or silage (2 cuttings per year in Hokkaido) and 1,500-2,000 tillers/m² for grazing (5-6 times use per year).

2. Factors regulating to keep the tiller density

(1) Effect of frequent use (5-6 cuttings per year) like grazing on the tiller density of timothy in pure swards (cultivars: Nosappu, and Hokushu) was examined in the swards. There was no significant decrease in tiller density for 4 years after establishment of the sward. Tiller density in the frequent use was higher than that in the 2 cuttings per year.

(2) When the cultivars Nosappu, Kiritappu and Hokushu

were grown under the mixture sward with white clover and cut 2, 4 or 6 times per year, both of the coverage of the swards by timothy and its yield decreased, whereas those of white clover increased, as cutting frequency increased.

(3) Therefore, the decrease in timothy tiller density in the sward was not caused by the direct effects of cutting or its frequency and it was due to interspecific competition with other coexisting plant species.

(4) Under frequent cutting, the competitive ability of timothy cv. Hokushu against white clover was inferior to that of meadow fescue cv. Tomosakae. Differences in species-specific seasonal change pattern of tillers were the most important cause of this difference in competitive ability.

(5) The effect of drought on timothy tiller density was also investigated. When drought conditions lasted from before the first cutting to after the cutting, the regrowth of timothy was suppressed and dead genets were observed. Even so, however, tiller density and productivity of timothy would recover as usual, if there was sufficient precipitation until following spring.

(6) The above results suggest that the interspecific competition with other coexisting plant species can cause a greater reduction in timothy tiller density than either cutting frequency or drought stress.

(7) The interspecific competitive ability and drought resistance of timothy was the lowest in June or July when the tiller generation change occurs and the emergence rate of internode-elongated tillers is the greatest.

3. Good practices to maintain timothy tiller density

(1) The selection of a suitable legume that does not suppress the growth of timothy in the mixture sward is one of the good practices to maintain the tiller density of timothy.

(2) Regardless of cutting frequency, there were very wide genetic variations in the number of tillers per genet and the rate of loss of genet among timothy genotypes, when the timothy genotypes were grown under the mixture conditions with other plant species. This study found out many genotypes of timothy that show better characteristics in those described above than the control variety. Therefore the breeding of new cultivars that have the superior