

2015 年度

畜産関係学術調査委託報告書

—リモートセンシングと統計解析による草地更新の社会経済分析—

東京大学大学院農学生命科学研究科 中嶋康博

東京大学大学院農学生命科学研究科 村上智明

東京大学大学院農学生命科学研究科 佐藤 赳

2016 年 3 月

要約

本報告書は、牧草地の更新率がどのような要因に左右され、更新率の低下が生じてきたのかを分析することを目的としたものである。分析は手順は、リモートセンシングによる更新地の特定から行い、農業センサスデータと組み合わせて草地更新率の決定要因の統計分析に用いた。分析の結果から、牧草地面積と周辺の更新状況の影響が更新率に対して大きな影響を与えていることが明らかとなった。周囲の更新率の影響が大きいということは、一度地域の更新率が下がってしまうと雪だるま式に更新率が下がっていつてしまう可能性があるということである。草地の改善は周辺にもスピルオーバーの大きいものであり、地域が一体となって更新率を高めていくことが重要であるといえる

目次

1. 背景と研究の目的	4
2. 草地更新の現状と更新率低下要因の理論的考察	7
2.1 調査対象地の概況	7
2.2 経営耕地面積・牧草地面積の統計と草地更新状況	9
2.3 草地更新の意思決定要因	11
3. リモートセンシングによる更新地の特定	14
3.1 リモートセンシングの技術	14
3.2 調査対象地域の地理的特徴	16
3.2 衛星画像解析のデータ	20
3.3 衛星画像解析の方法	25
3.4 衛星画像解析改良手法の開発	29
4. 牧草更新地の特定結果と予備的考察	37
4.1 土地利用/土地被覆分類結果	37
4.2 土地利用/土地被覆の歴年比較	49
4.3 土地利用/土地被覆分類と圃場抽出を用いた更新草地面積推計結果	52
5. 草地更新の計量経済分析	54
5.1 計測の方法とデータ	54
5.2. 計 測 結 果	56
6. まとめ	59
引用文献	60

1. 背景と研究の目的

近年、酪農生産における粗飼料供給基盤の重要性はさらに高まってきている。牛乳の生産費に占める飼料費のシェアは全国平均で49%を占め、特に、大規模経営ほどシェアは大きい（平成26年度畜産物生産費）。こうした中で、配合飼料価格は2007年の高騰以降も高値で推移しており、2015年度には年間を通して7万円/t以上と21世紀初頭と比較すると1.5倍程度の水準での販売が続いている（図1-1）。配合飼料価格の高騰は生産費の上昇に直結しており、2000年代前半まで乳脂肪分3.5%換算乳量100kg当たり生産費は7000円台前半であったものが、その間に大規模化が進みながらも、2014年度には8819円まで増大している。配合飼料価格上昇への対応としてより多くの栄養価を粗飼料から摂取することが考えられる。しかし、輸入乾牧草の輸入価格についても配合飼料価格と同様の推移をしており（図1-2）、価格の高騰から輸入牧草を代替品として利用することは困難な状況にある。現在の市場環境においては、自給粗飼料の重要性が非常に高い状態にあるといえる。

しかし、こうした市場環境下にあっても、国内粗飼料生産は減少傾向にある。特に土地利用型酪農の中心である北海道に絞って牧草の収穫量についてみると、1990年代には2000万t以上の収穫があったものの、2014年度には8程度の1700万t台まで減少している。減少の要因は作付面積の減少と単収の減少に分けられる。作付面積については、ピーク時の58万haから54万haと1割弱の減少にとどまっているが、単収もピーク時の3600kg/10aから3200kg/10a程度と1割の減少が起きているため、かけ合わせて2割の減少となっている。

牧草地から十分な質と量の粗飼料を収穫するためには、適期の刈取りやサイレージ積み込み技術の向上といった育った牧草をどのように収穫・調整するかも重要であるが、牧草地の状態が悪化していれば、上手に収穫・調製を行っても良質な粗飼料を確保することは困難となる。牧草地の状態を良好に保つには、牧草地に雑草が繁茂したときに一度地上の植物体を除去し、牧草の種子を蒔き直すことにより、乳牛にとって利用価値の高い植物体が支配的になるようにする更新作業を継続的に行う必要がある。

しかし、北海道全体でも草地の更新率は減少傾向にある。北海道農政部の「北海道の飼料を巡る情勢」平成28年2月版によれば、北海道全体の草地更新・整備面積割合は1995年に4.8%、2000年に4.6%、2005年には4.1%と徐々に低下傾向にあったが、2010年以降は毎年3%前後とさらに低下している。本報告の分析対象地である根釧地域でも、1990年代では更新率が10%弱あったが、聞き取り調査によれば、現在は5%程度まで減少している。草地の生産性低下は、生乳の供給能力低下に直結するため、特に乳製品の貿易自由化が差し迫っている中では、どのような要因によって牧草地の更新が滞るようになってき

たのかを明らかにすることが求められる。

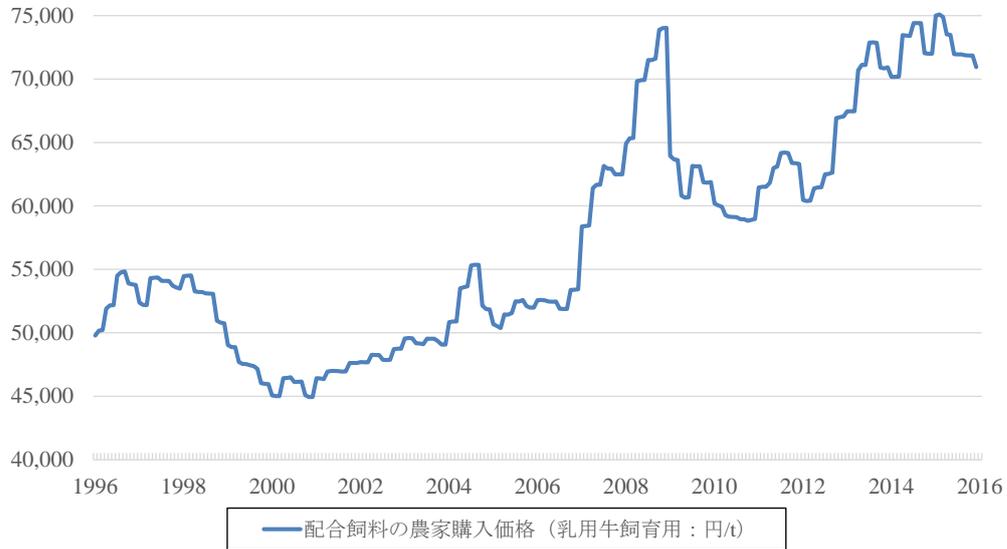


図 1-1 直近 20 年の配合飼料価格の推移

出典：農畜産業振興機構「国内統計資料」より作成。



図 1-2 近年の粗飼料輸入価格の推移

出典：外務省「貿易統計」より作成。

牧草地の更新が進まない要因として中野(2003)は 90 年代における配合飼料価格の低廉さや酪農の規模拡大による労働力不足、規模拡大による更新費用の増大、更新をめぐる機

会に対する助成金の不足などを挙げている。このうち、配合飼料価格については近年の高騰によ

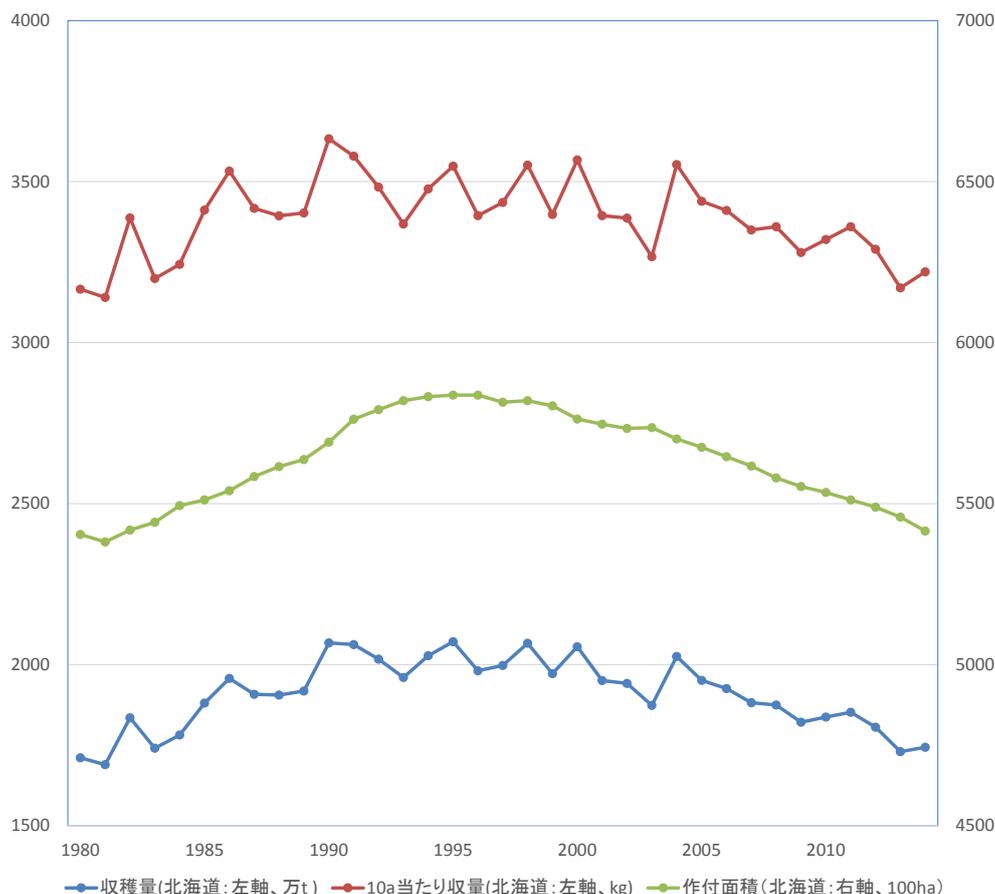


図 1-3 北海道における牧草生産の推移

出典：農林水産省「作物統計」より作成。

って更新率の低下要因としては外れつつあるが、依然として更新率は低いままである。草地の生産性低下は、生乳の供給能力低下に直結するため、特に乳製品の貿易自由化が差し迫っている中では、どのような要因によって牧草地の更新が滞るようになってきたのかを明らかにすることが求められる。

そこで、本報告では草地酪農の中心的地域である北海道別海町を対象に、まず、衛星リモートセンシングを用いて、近年の別海町における草地の更新状況について明らかにする。こうして得た更新状況のデータをもとに、更新地割合の決定要因を明らかにするために、2010年度の農業センサス集落カードデータと組み合わせて計量分析を行う。ここでは、草地の更新状況は周囲の更新状況の影響を受けるということが予想されたため、空間自己回帰（SAR）モデルによって計測を行うこととした。

2. 草地更新の現状と更新率低下要因の理論的考察

2.1 調査対象地の概況

本報告における分析対象は北海道野付郡別海町である。別海町では総面積 1320km²の土地に人口約 1 万 6000 人が居住するが、乳用牛は 10 万頭以上が飼養され、人より牛の多い町として有名な草地酪農地帯である。町内は南部に矢臼別演習場が存在しているが、それ以外の地域では大半の土地利用は牧草地と防風林によって構成されている。

別海町の年間平均気温は約 5 度と道内でも冷涼な地域にあたるが、特徴的なのは「じり」と呼ばれる夏場に発生する千島海流の影響からの海霧の存在であり、夏場に気温が上がらず、日照時間が短くなる要因となっている。そのため、7 月の平均気温でも 15 度程度であり、東京の 4 月の平均気温 14 度と比較するといかに冷涼な気候であるのかがわかる。夏場に気温の上昇しない気候のため、積算気温の関係でデントコーンやその他の畑作物の生産が困難な状況にあり、牧草地が地域内の支配的な土地利用となる要因ともなっている。

表 2-1 は別海町の酪農についてまとめたものである。別海町では 1980 年時点で既に平均的な乳用牛飼養頭数で 61.9 頭まで規模拡大が進んでおり、道内で比較しても非常に大規模な酪農が営まれていた。2010 年においては平均 135.3 頭と倍以上の飼養頭数まで拡大しており、道内平均と比較しても 20 頭以上飼養頭数が多い大規模化の進んだ地域である。大規模化の背景となったのは、恵まれた草地基盤の存在である。町内の牧草専用地面積は近年でも 60,000ha 前後で推移しており、道内全体牧草専用地の 1 割以上占めている。

経営あたりの牧草専用地面積で見ると、近年は増加幅が減少しつつあるが、それでも 70ha 超と道内平均よりも 2 割程度大きい。ただし、乳用牛あたりで見ると平均 50a 程度と近年は北海道平均に近づきつつあり、規模に比して広大な草地に恵まれているとは言えない状況になりつつある。

表 2-1 別海町の酪農

		1980	1990	2000	2005	2010
乳用牛飼養経営数	北海道	19,344	14,301	9,685	8,572	7,564
	別海町	1,338	1,181	997	885	828
乳用牛飼養頭数	北海道	701,496	824,901	800,868	830,110	866,058
	別海町	82,764	100,173	104,475	104,108	112,058
平均飼養頭数	北海道	36.3	57.7	82.7	96.8	114.5
	別海町	61.9	84.8	104.8	117.6	135.3
牧草専用地面積 (ha)	北海道	368,032	394,666	330,243	471,750	448,410
	別海町	53,896	60,948	61,257	61,301	59,521
経営あたり	北海道	19.0	27.6	34.1	55.0	59.3
牧草地面積(ha)	別海町	40.3	51.6	61.4	69.3	71.9
乳牛あたり	北海道	52.5	47.8	41.2	56.8	51.8
牧草地面積(a)	別海町	65.1	60.8	58.6	58.9	53.1

出典：農業センサス累年統計書より作成。

註：2000年以前は販売農家、2005年以降は農業経営体について集計したものである。

2.2 経営耕地面積・牧草地面積の統計と草地更新状況

我が国では毎年の作物統計や5年ごとの農林業センサスによって耕地面積データが日本全国で集計・整備され、公表されている。2010年世界農林業センサスによれば、2010年の根室支庁管内の経営耕地面積は91933ha、牧草専用は85473haであり、別海町内では同年経営耕地面積は58251ha、牧草専用は54877haである。

農業集落単位でのデータ整備が行われてきた一方で、農林業センサスでの牧草地の面積は5年ごとにのみ観測され、その間の年のデータは不明である。5年以内に増加と減少があった場合や、ある年次のみ大きな変化が生じた際には、その変化は総量としてしか捉えることができない。また、作物統計では市町村内、農林業センサスでは集落内での面積の分布は明らかではなく、経営ベースでの耕地や牧草専用地に実際に牧草が繁茂しているかどうかといった管理状況は分からないという限界もある（中嶋ら 2015）。

牧草地の管理状況を把握するためには、更新草地の面積を把握することが最も重要な関心事の一つである。しかし、草地更新の面積は地域のJAなどの生産支援組織や会社が一部を公表しているのみで、地域や時系列で連続した統計は整備されていない。草地酪農においては、良質の自給飼料を乳牛に十分給与して個体乳量を上げるほうが、経営外から購入する濃厚飼料の多給に依存するより、収益性の高い安定した経営ができる（船本 1983）。さらに、草地面積の拡大が困難となってきた、単位面積当たりの牧草収量を高めることが良質自給飼料確保のために不可欠であるとされる（松中 1987）。草地の生産性回復ばかりでなく、経営規模の拡大や、収穫作業の外部委託化に対応した刈取り適期幅の拡大のために最近育成された優良品種や新たな草種を導入する意義もあるといわれている（竹田 2004）。

ここで、牧草地や更新草地の面積とその分布を詳細に明らかにする方法として、リモートセンシング解析による更新草地の判別が挙げられる（牧野ら 2006）。美濃ら（1996a; 1996b）は、Landsat 衛星を用いて、複数年時のデータを用いることによって更新面積を推計した。さらに五味（2011）は、生育解析手法を参考とした衛星画像解析により、牧草地と更新草地を明確に分類可能であるとしている。また、牧草地そのものの推計においても、市町村別の草地面積と衛星データから抽出された草地面積との関係を解析した結果、統計資料による草地面積と衛星データから得られた草地面積の間に高い正の相関関係が認められている（牧野ら 2006）。以上のようにリモートセンシング解析を用いた牧草地及び更新草地の面積導出には研究の蓄積もあるが、美濃ら（1996a）が明らかにした更新地面積は20年以上前であり、それ以降には、行政区以上のレベルでの広い範囲を対象とした面積の推計は行われていない。これは、衛星画像解析の技術の向上によって正確な分類手法の開発が期待されるだけでなく、現在と当時には、農家家計の経済的環境から国内の土

地・食料事情に至るまで、大きな変化があり、政策上も近年の農地環境変化要因を分析する意義がある。さらに、データの取得やその他の統計との接続の問題から、草地更新に関する統計的分析及び経済分析は今まで十分に行われてこなかった。

2.3 草地更新の意思決定要因

ここでは、草地更新の意思決定を投資行動と想定して単純な経済モデルを構築する。

草地の更新を行うことによる影響は、収穫される牧草の質と量の向上である。一方で、更新には費用が必要である。

一般にこうした投資行動を分析する際には Net Present Value (NPV) による評価が行われる。NPV は投資によって生じる利得の期待割引現在価値によって評価され、正であれば投資が行う方が適当であるという評価法である。NPV は次式によって表現される。

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{E(b_t)}{(1+r)^t} - I$$

ただし、 b_t は t 期における投資による利得、 r は割引率、 I は投資にかかる費用であり、利得は T 期間にわたって享受されるものとする。

ここで草地更新について考えると、 b_t は牧草の質と量の向上であり、その価値は酪農生産を通して得られる。その際には、代替品としての配合飼料と関係が大きな要素となり、配合飼料価格の上昇は粗飼料からの栄養摂取の価値を向上させる。

また、酪農生産にあたっては、牧草と質と量の改善による利得は、他の要素を一定としたときには収穫逓減が生じていくと考えられる。このことは次式で表わされる。

$$\frac{\partial b}{\partial a} < 0$$

ただし、 a は乳牛あたりの牧草供給量である。この式に意味するところは、草地に恵まれた地域においてはそうでない地域と比較して草地更新による利得が少ないというものである。

次に、更新の費用について考察する。更新にかかる費用は自家更新の場合は種子を含む物財費と更新用の機械費、更新のための労働費である。労働費については、単純な労賃というよりは、追加的な労働時間に対する酪農経営の主観的な費用としての評価と考える方が妥当であろう。ただし、対象地域においては、JA やコントラクターによる更新作業の受託が行われており、更新者は自家更新と委託を選択することができる。

このとき、自家更新費用の主観的評価が委託費用を下回る場合においては自家更新がなされ、そうでない場合は作業は委託される。物財費、機械費はどの経営でも共通と考えると、この選択に大きな影響を与えるのは追加的な労働に対する評価であり、これが低い経営は自家更新の費用を負担して更新を行うが、高い経営は委託費を払って更新を行うことになる。このとき、委託更新費はどの経営に対しても共通であるから、

$$I_{self} \leq I_{out}$$

が成り立つ。委託する確率は個人の労働の苦役に対する主観的評価に依存するが、同一の個人にとっては、労働時間の増加は委託率の増加につながる。個人の労働時間については、乳牛飼養頭数と経営内の労働力賦存に加え、設備投資の状況によって決定されると考えられる。中野(2003)は家族労働力の多くを飼養管理にとられる乳用牛飼養頭数の多い大規模経営は更新率が低下する可能性があることを指摘しているが、労働力に関しては外部から雇用することも可能なため、経営全体としての労働力の保有状況によって左右されると考えるべきである。ただし、この点については、研究対象地域に立地する A 農協資料によれば、種子対応による自家更新は全体の 1/6 程度しかないため、大きな影響を与えていない可能性もある。

次にリターンフローの期間について考察する。現状の北海道のように草地更新率が 3% 程度であれば更新した植生からの飼料の収穫は 30 年間続くことになるが、草地更新の植生改善効果が続くのは長くて 10 年程度のものである（自給飼料改善プロジェクト報告会資料）。この間確実にリターンを受け取れるのであれば、更新投資によるリターンを全て受け取ることができると考えられるが、それまでに引退してしまえばリターンを受け取ることができずとされるが、それまでに引退してしまえばリターンを受け取ることができない¹。こうした長期のリターンは途中で引退する可能性のある高齢であったり、後継者のいない経営ではどこまでの期間利得を受け取れるのか、言い換えるならば T の値に対する期待値に負の影響を与えると考えられ、投資が行われる確率は減少する。

また、長期間の間どの程度草地の劣化が進むかは、管理者の草地管理に対する知識や周辺のうちにおける雑草の分布の影響を受けると考えられる。劣化が早く進めば b の値は気が進むにつれて大きく減少していくことになり、そのことが予想されれば、更新を行う確率に負の影響を与えることとなる。

草地の更新を行うことがどのような効果をもたらすのかという面での知識・情報も投資に対する影響を与えると予想される。投資行動を行う際に、情報が不完全で NPV の評価を判断できないのであれば、投資行動を行うことができないからである。

以上の点を踏まえると、投資行動に影響を与える要因とその効果は表 2-2 のように整理できる。草地更新率を低下させる要因としては、配合飼料価格の低下、乳牛あたりの牧草供給量の増加、経営内保有労働力の減少、酪農従事者の高齢化、後継者の不在、周辺草地にお

¹ 更新直後の土地に関しては草地の状態が土地の評価に上乗せされることも考えられる。そのため、土地を手放すときにその評価が上乗せされた形で回収できるのであれば、期間中に生産活動を打ち切ってもリターンは回収可能となる。しかし、別海町農業委員会によれば、草地の状態が評価額に影響を与えるのは貸借の場合のみであり、町内で大半を占める農地取引形態である売買においては、評価額に加味されていないとのことである。

表 2-2 草地更新率の影響要因と効果の整理

変数名	影響を与える要因	効果の 正負	更新率への 影響
配合飼料価格	<i>bt</i>	+	+
乳牛あたり牧草供給量	<i>bt</i>	-	-
経営内労働力保有量	<i>I</i>	-	+
主たる酪農従事者の年齢	<i>T</i>	-	-
後継者の有無	<i>T</i>	+	+
周囲の草地の雑草分布	<i>bt</i>	-	-
経営主の草地管理の知識	<i>bt</i>	+	+
更新の効果に関する情報	<i>bt</i>	-	+

ける雑草の繁茂、草地管理の知識が不十分である、更新を行うことによってどの程度の利得を享受することができるのかが明らかでない、等が挙げられる。ただし、近年の状況では、配合飼料価格は高騰しており、そうした中においても更新率が上昇してこないことに問題がある。

3. リモートセンシングによる更新地の特定

3.1 リモートセンシングの技術

本研究は、衛星データを基に、独自に土地利用/土地被覆を明らかにし、経済分析を行う。以下、研究で使用するリモートセンシング技術のコア部分を紹介する。

リモートセンシングとは、物体に関する情報を接触せずに収集することであるChambell(1996)。その定義には曖昧さも残るが、本研究では主にRees(2012)に準じて、対象を上空から衛星や航空機を使い、電磁波によって観測する手法に絞ることとする。広範囲の土地利用土地被覆を宇宙からの衛星画像データの解析により明らかにすることができる。この技術は、日本では特に衛星リモートセンシングという名称で取り扱われている。近年は政府機関だけでなく商業衛星の打ち上げと観測も盛んになっており、さまざまな地域において解像度の高いデータが入手可能である(日本スペースイメージング社 2013 (<http://www.spaceimaging.co.jp>) 他)。宇宙からの多スペクトル画像の撮影に初めて成功したのは1960年の米国国立航空宇宙局(NASA)によるアポロ6号であるとされる。そして、アポロ6号を発端としてリモートセンシング技術は、1972年のNASAによるLandsat衛星の打ち上げ・運用開始を契機に大きく発展してきた。現在では、リモートセンシングシステムの数やその性能、観測可能な波長も増加している。リモートセンシングの同じ観測点に到達する周期(再訪周期)、一度に撮影できる地表面積や画像の最小単位であるピクセル一辺の地表面での長さ(解像度の高さ)はそれぞれの衛星やそこに設置されたカメラで固有である。たとえばLandsat衛星では最小単位は30m×30mの正方形となっている。

再訪周期と一度に撮影できる地表面積、画像の最小単位であるピクセルは主に衛星軌道の高度に依存し、それぞれがトレードオフの関係にある¹⁸。例えば衛星軌道が高高度であるほど、衛星の軌道速度が低下するために、再訪周期は長くなる。地表面との距離が増大するため一度に広範囲を撮影できる一方で、その画像の解像度は低下する。一部の衛星は撮影器の角度を動かし任意の地域を撮影するポインティングという機能を使用する。この機能を有する民間の商業衛星の一部はこれらの衛星による画像は非常にピクセルが細かく、比較的狭い特定の範囲の土地利用/土地被覆を詳細に判読することができる。これらのポインティング機能を持った衛星では、任意の地域で特定の期間に撮影することを前もって依頼できる。

我が国でもALOS衛星などにより高解像度の撮影を行っているが、ALOS衛星再訪周期が長く、また画像取得の期間が2006年~2011年に限られているためにデータ入手可能年次が少なく、長期での土地利用分析には向いていない。長期の土地・農地利用を明らかにするためには、同一の撮影機による長期観測が理想的である。

以上のような衛星による画像データを利用したリモートセンシングデータの特性として、広域性・同時性・同質性・高頻度性といった特徴がある(須崎 2002)。土地利用等の統計デ

ータの入手が困難な地域や元々データのない地域、データの画一性に乏しい地域、正確性の低い地域においても、広域性や同質性の観点から同水準のデータが入手可能となる。また、データの正確性については、その解析過程の改善により、質の向上が可能である。そして、仮に土地判別データに誤りがあったとしても、操作上の技術的な理由によるために、あらためて修正が可能であり、そのバイアスの方向が判断しやすく改めての分析において人為的なバイアスが生じえない点に強みがあると考えられる。

リモートセンシングは多様な環境変数の測定にも効果を発揮し、大気中の気温、降水量、雲の分布、風速、水蒸気や二酸化炭素等、地表面における地表温度、反射率、土壌水分などが測定できる。地表面の土地被覆状況の判別に加えて、生物物理的な変数を入れることで、これらの指標に表れる自然環境による影響をコントロールすることが可能となる。

本研究では特に、再訪周期16-18日で撮影範囲は150×150km、ピクセルは30mのLandsat8衛星(<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>), 再訪周期3-6日で撮影範囲は60×60km、ピクセルは6-30mのSpot衛星(<http://www.spot.com/>), 再訪周期16-18日で撮影範囲は77×77km、ピクセルは5mのRapidEye衛星(<http://blackbridge.com/rapideye/>)の三つの衛星により撮影された衛星写真を用いる。

3.2 調査対象地域の地理的特徴

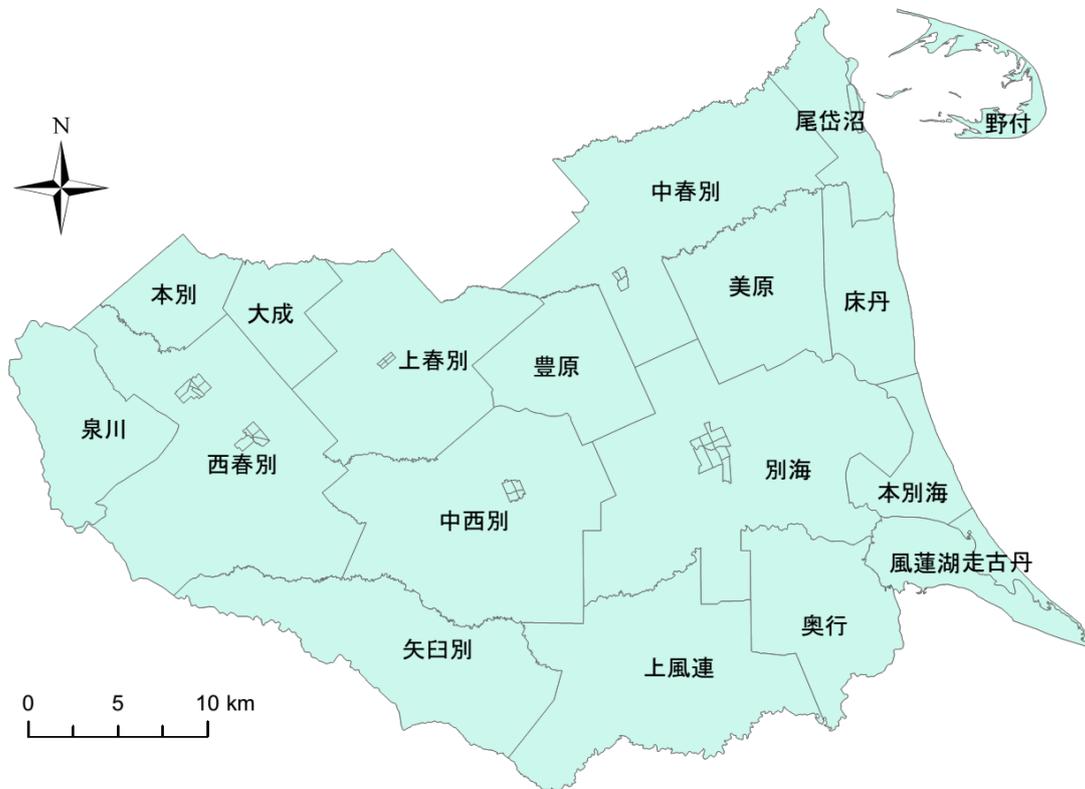


図 3-1-1 根室支庁管内 別海町の字単位での地域区分
筆者作成

図 3-3-1 は対象地域である根室支庁管内別海町における字単位の地域区分である。政府統計 estat(<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>)よりデータを取得し作成した。地域区分に一部で細かな区画が見られるのは、都市部の人口集中地域に異なる行政表記が設定されているためである。別海町は北緯 43 度 20 分から 43 度 62 分、統計 144 度 63 分から 145 度 39 分に位置する。年平均気温は 5.4 で 12 月～2 月は平均気温が氷点下を下回る寒さの厳しい地域で、平均降水量は 1135mm となっている(気象庁 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_amd_ym.php?prec_no=18&block_no=0088&year=&month=&day=&view=p1)。図中左下の縮尺に示されるように、面積は広く、約 1,319km²、人口は 15,695 人である(住民基本台帳人口, 2015 年 12 月 31 日)。別海町には別海地区の他、西春別地区、上春別地区、上風連地区などを含んだ 18 の地区からなる。隣接する自治体は、根室市や中標津町、厚岸郡浜中町、厚岸町などである。

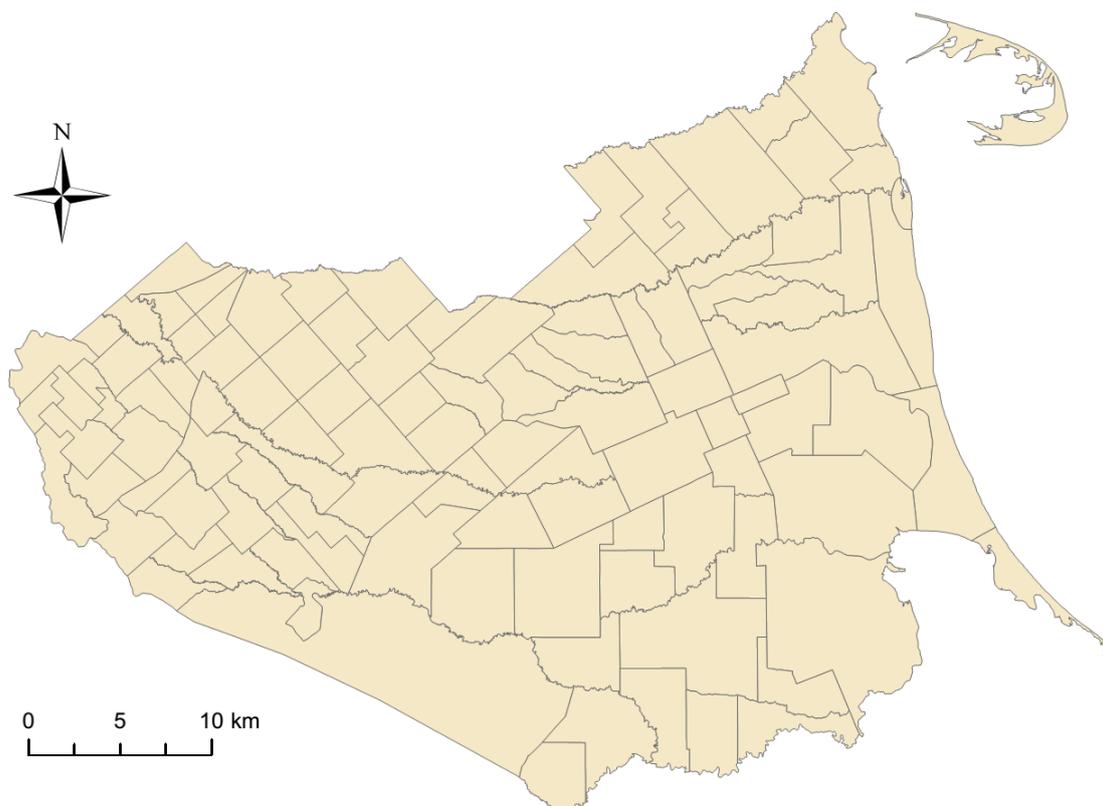


図 3-1-2 根室支庁管内 別海町の農業集落単位での地域区分
筆者作成

図 3-1-2 は別海町における農業単位の地域区分である。字単位の区分より細かく分か
れていることが分かる。農業センサスの統計はこの農業集落の区分に対応している。この
集落区分の一汁才法によって、本研究では、衛星画像の解析によって明らかにした土地利
用/土地被覆と、農業センサスの社会経済学的な統計とを結合して分析した。

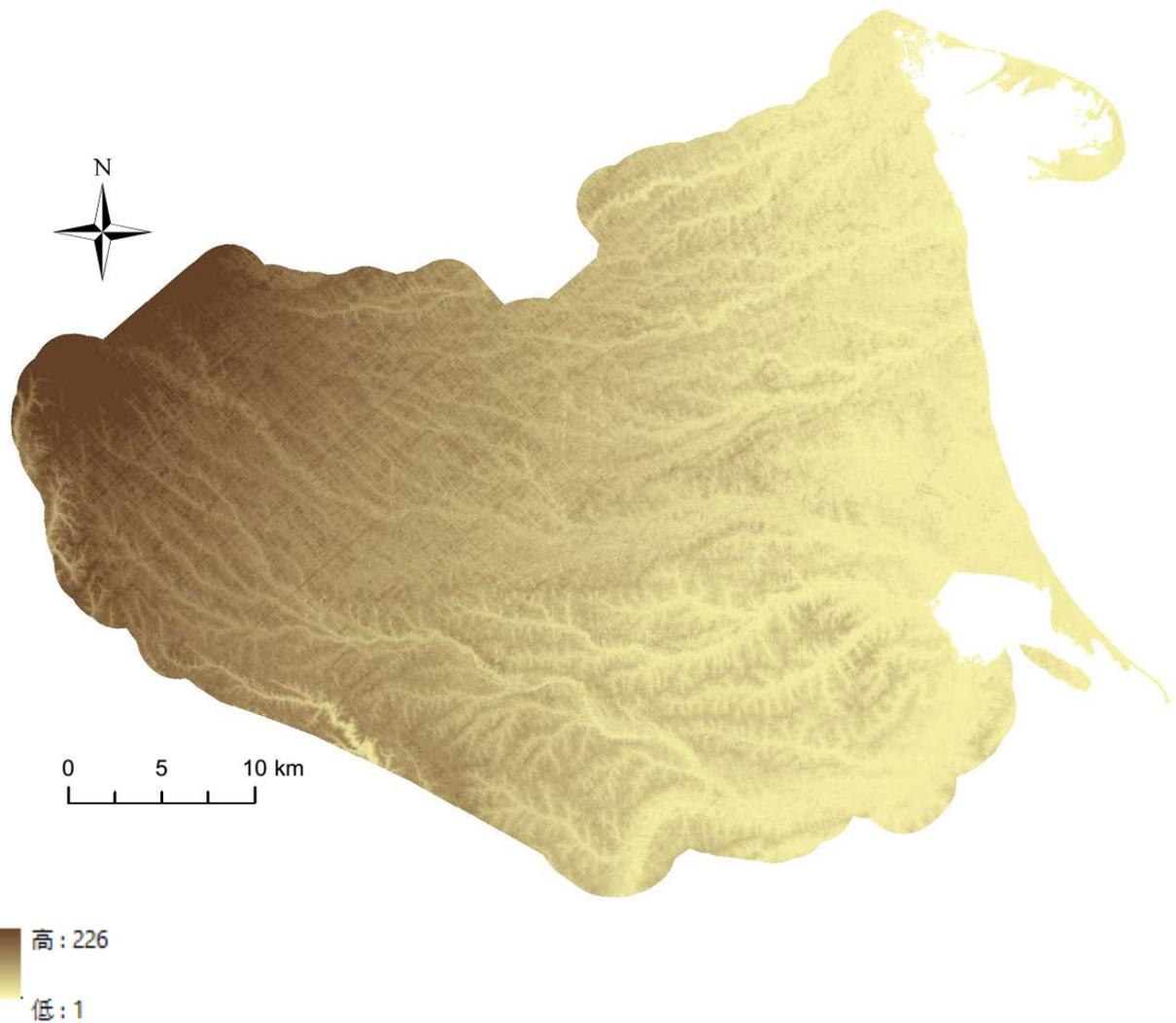


図 3-1-3 根室支庁管内 別海町の標高データ
筆者作成

図 3-1-3 は別海町の標高である。これは ASTER と呼ばれる人工衛星 Terra に搭載された地球観測センサーから得られた情報を元にした標高データである。ASTER のデータは一般財団法人資源・環境観測解析センター(<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>), 米国航空宇宙局(<https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>)から無償で入手できる。30m×30m が最小面積の標高データである。別海町は標高が低い地域が多く、最も標高が高い地点でも海拔 226m である。この広大な平野で酪農が盛んに行われている。

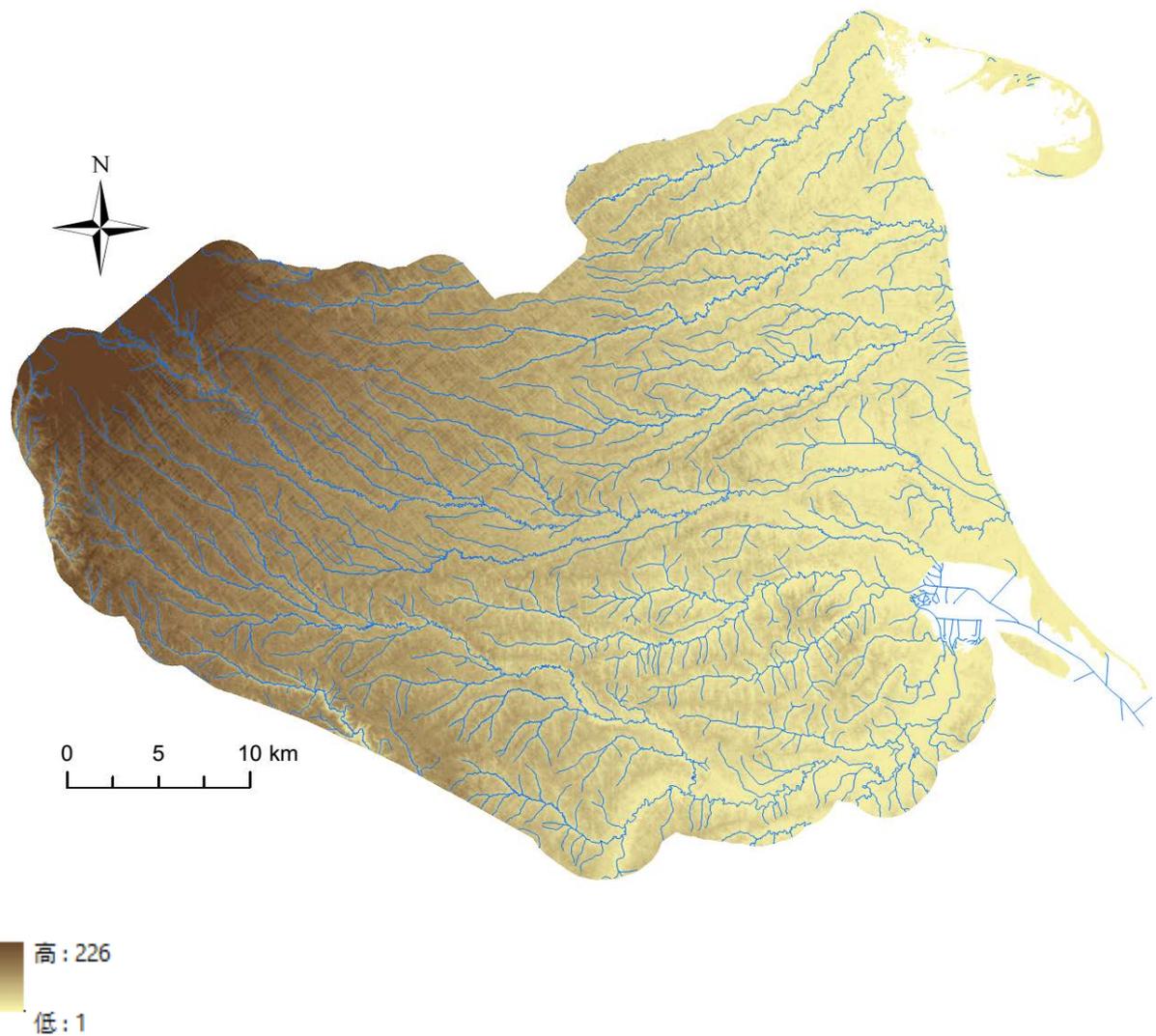


図 3-1-4 根室支庁管内 別海町の標高データ
筆者作成

図 3-1-4 は図 3-1-3 の標高に河川の位置情報を組み合わせた図である。河川の情報
は国土数値情報 (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>) より取得した。当然のことではあるものの、
標高の低い方向へ川が流れている様子が確認できる。このような標高の高低やそれに伴っ
て分布する河川は土地利用/土地被覆に非常に大きな影響を与える。本研究対象地域である
別海町では、沿岸部を河川に沿って森林が広がり、その間が牧草地となっている。

3.2 衛星画像解析のデータ

本研究では 2010~2015 年を対象に土地利用/土地被覆を明らかにした。以下に本研究で使用した衛星画像を示す。

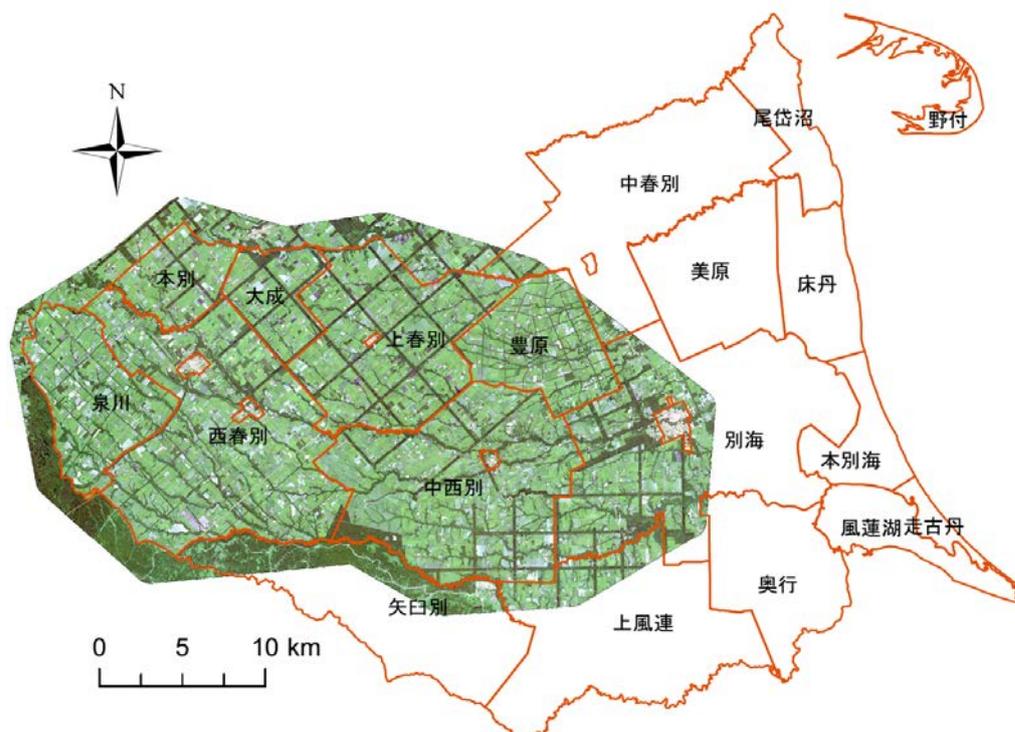


図 3-2-1 2010/8/6 Rapideye 衛星画像
筆者作成

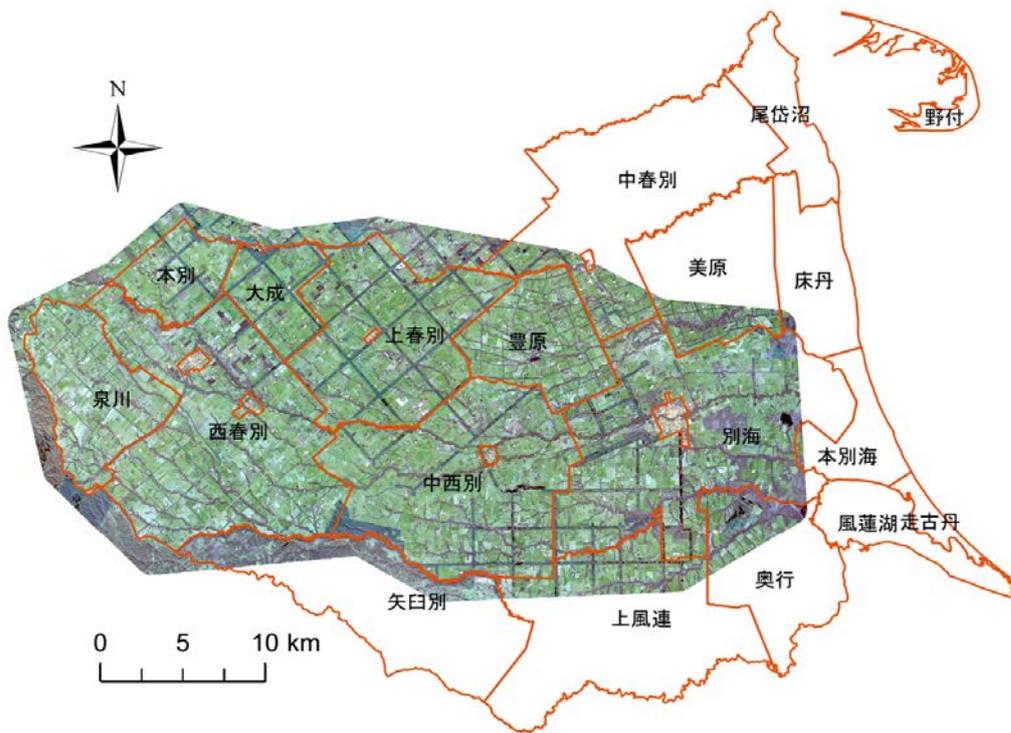


図 3-2-2 2011/11/1 Rapideye 衛星画像
筆者作成

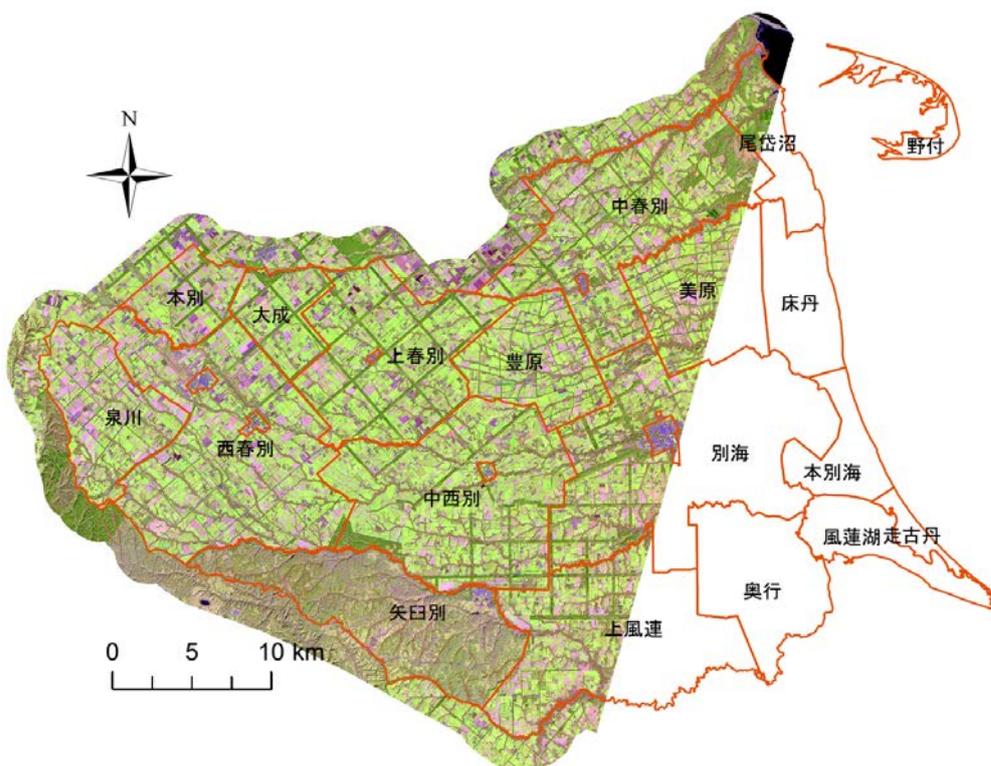


図 3-2-3 2012/10/19 Spot4 衛星画像

筆者作成

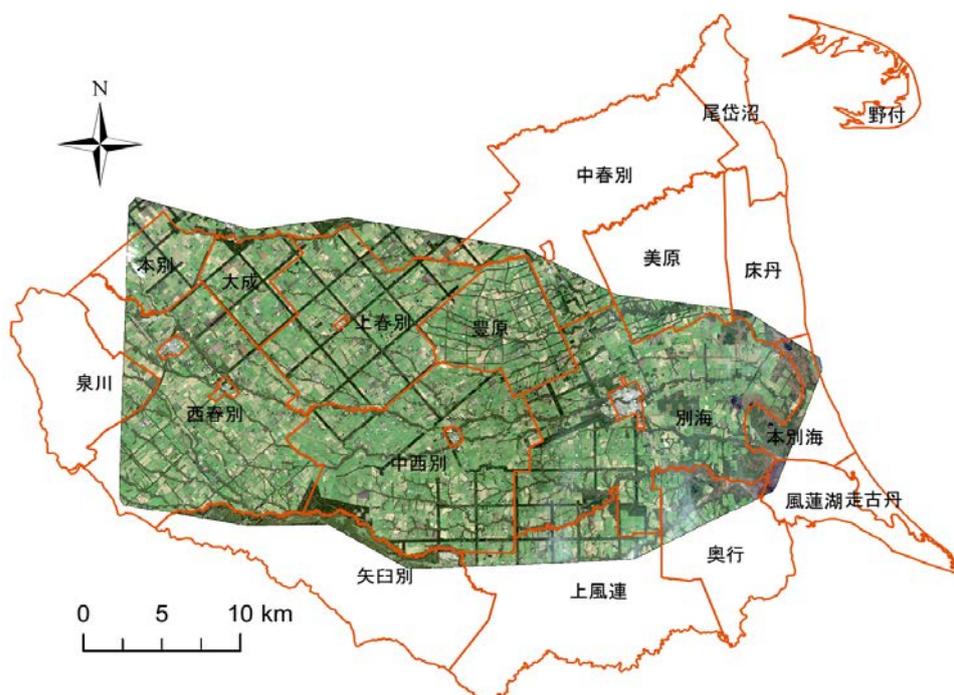


図 3-2-4 2013/10/4 Spot6 衛星画像

筆者作成

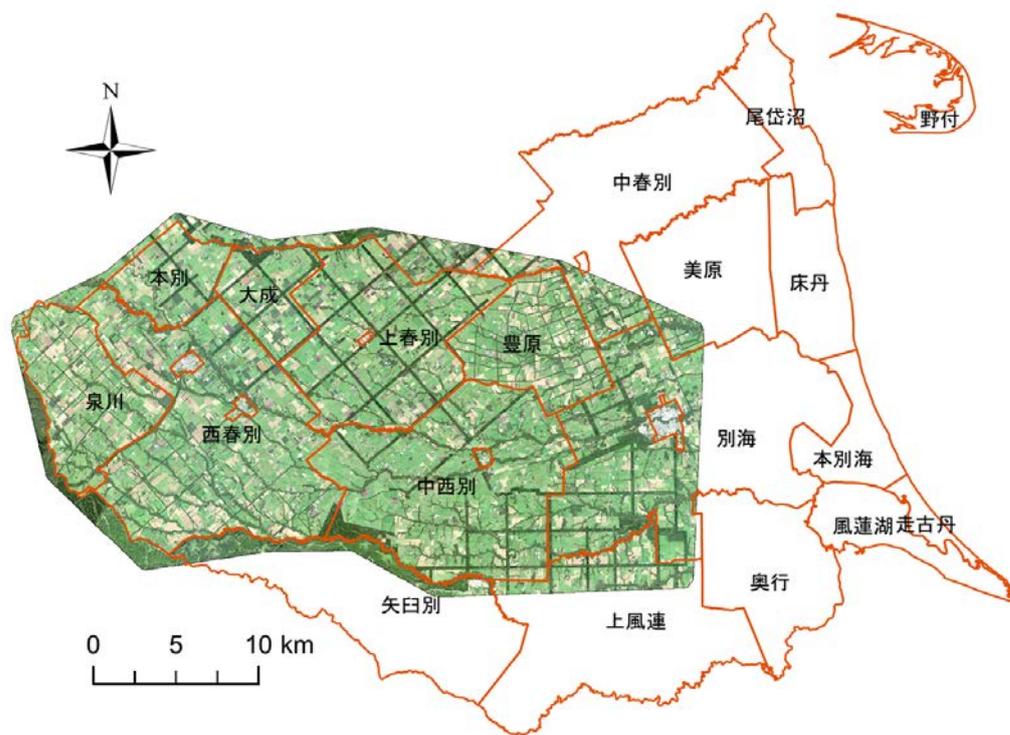


図 3-2-5 2014/9/21 Spot6 衛星画像

筆者作成



図 3-2-6 2015/10/27 Landsat8 衛星画像

筆者作成

図 3-2-1～図 3-4-6 までの画像は、対象地域において、2010 年～2015 年で草地面積及び更新草地面積を判別可能な 8 月～10 月の衛星画像である。条件を満たす撮影範囲の大きさが限られているために、2010 年～2014 年の画像は別海町全域を含んでいない。

まず、図 3-2-1 は 2010 年 8 月 6 日の Rapideye 衛星画像、図 3-2-2 は 2011 年 11 月 1 日の Rapideye 衛星画像である。画像の最小単位は 5m であり、5m 四方以上のものを判別できる。画像範囲は広くなく、別海地区以西に偏った範囲しか入手できなかった。しかし、図 3-2-6 から分かるように、本別海地区や床丹地区といった海岸部の地区は森林などの非耕作の土地利用/土地被覆が多く、牧草地は少ない。以上より、本研究では、別海地区以西の行政区を中心的に分析を行う。

図 3-2-3 は 2012 年 10 月 19 日の Spot4 衛星画像である。画像の最小単位は 20m で Rapideye などと比較すると粗い。細い道路や小屋などの小さな対象物の把握には向いていない。しかし、本研究対象地域である別海町の牧草地はいずれも一辺が 20m より大きく、牧草地や更新草地の判別には問題がないと考えられる。

図 3-2-4 は 2013 年 10 月 4 日の Spot 6 衛星画像、図 3-2-5 は 2014 年 9 月 21 日の Spot 6 衛星画像である。画像の最小単位は 6 m である。2013 年の画像は中央部東よりに位置するが、豊原、中西別、上春別地区に加え、西春別地区の大部分はカバーしている。

図 3-2-6 は 2015 年 10 月 27 日の Landsat 衛星画像である。画像範囲が広く全域をカバーしている一方で、画像の最小単位は 30m である。これも、本研究対象地域である別海町の牧草地は一辺が 30m より大きく、牧草地や更新草地の判別には問題がないと考えられる。

3.3 衛星画像解析の方法

一般に、耕起して更新された草地は、1ヶ月程度は地表面に土壌が露出する。そこでの変化を衛星データを用いて判別することができる（美濃ら 1996a）。現地調査によって、別海町では更新の多くが7月～8月初旬に行われることが判明したため、本研究では8月～10月のデータを取得し（図3-2-1～図3-2-6）。また、2010年～2014年では、先行研究での衛星画像より解像度の高いRapidEyeやSpotの画像を用いることで、圃場の境目や道との混交を防ぎ、更新草地の植生の違いをより明確に区分することができると考えられる。

本研究では、3回の現地調査を行い、コントラクター業者などへの聞き取り調査に加えて、現地での土地利用を記録した。記録したデータに基づき、内容の判明している約50カ所の参照となる土地利用/土地被覆を選定し、12項目に分けた。その上で参照となる土地利用/土地被覆と似た特徴を持つ土地を判別する教師付分類法によって土地利用/土地被覆の判別を行った。



図 3-3-1 土地利用/土地被覆判別事例 1-1 2014/9/21 Spot 6 衛星画像の一部
筆者作成

図 3-3-1 は、2014/9/21 Spot 6 の衛星画像の一部である。衛星画像は拡大するとこのように見える。図中で細長く伸び交差している深緑の部分は、森（防風林など）である。黄緑色や黄土色、焦げ茶色で並んでいる土地が牧草地や更新草地である。

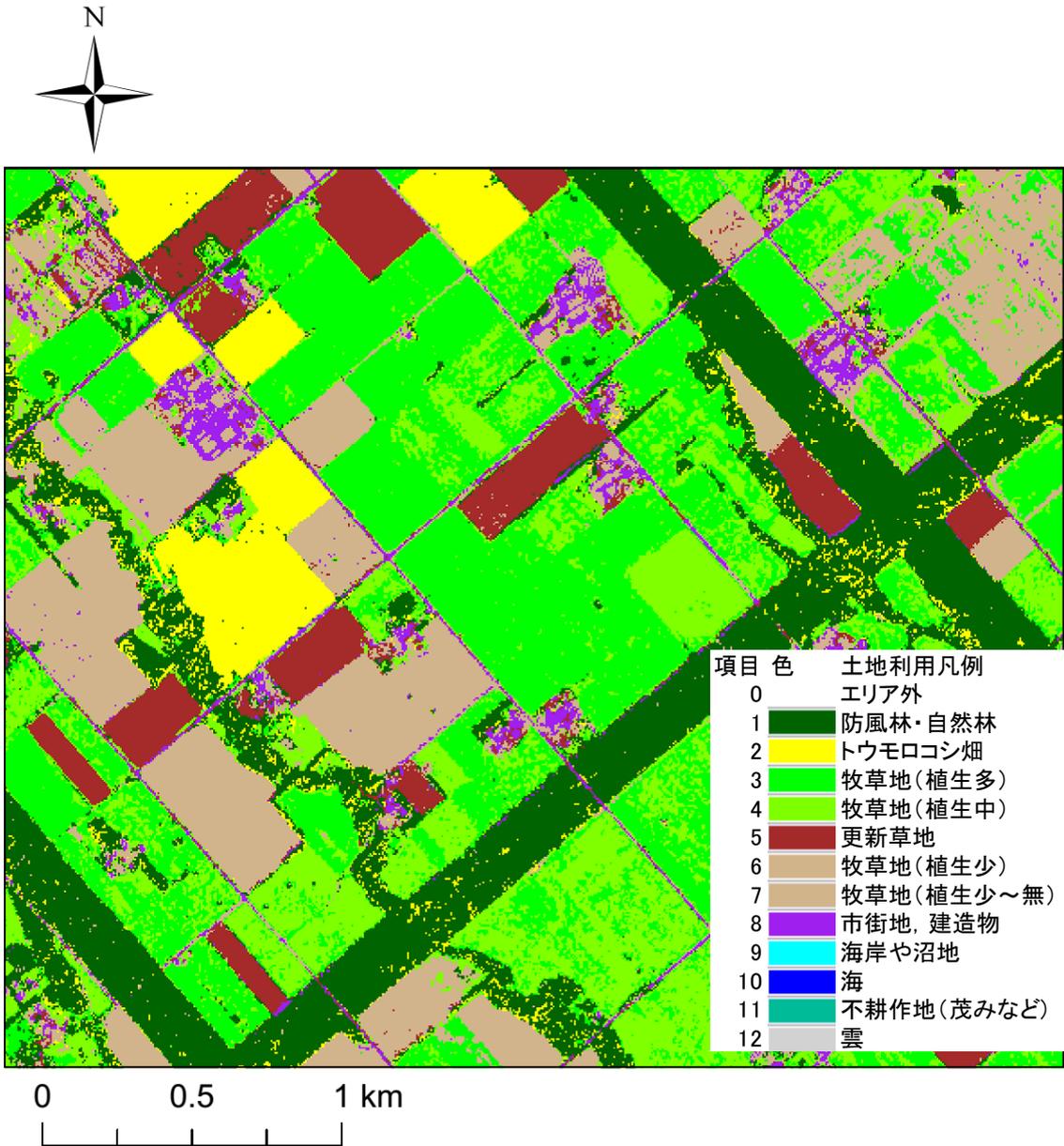


図 3-3-2 土地利用/土地被覆判別事例 1-2 図 3-5-2 の土地利用/土地被覆判別結果
筆者作成

図 3-3-2 が、図 3-3-1 の土地利用分類結果である。12 項目の土地利用/土地被覆は以下である。

項目 0 は衛星画像の範囲外で、透明もしくは白色となっている。図 3-5-2 中には存在しない。項目 1 は防風林や自然林などの森及び林地を指す。項目 2 はトウモロコシ畑を指す。項目 3 は図中黄緑色で示される牧草地で、特に植生が多いものを指す。項目 4 も牧草地である。項目 3 より少ないが、植生は十分に存在する土地を示す。項目 3 との差はあ

まり大きくなく、図 3-3-2 でもあえてほとんど同じ色にしている。項目 5 は更新草地である。土壌が露出し Spot6 画像では、図 3-3-1 の焦げ茶色の箇所に見える。項目 6 も牧草地で、項目 3, 4 と比較し明らかに植生が少ないものである。項目 7 は項目 6 と同じかそれ以上に植生が少ない牧草地であるが、その差は少ない。今回の多くの衛星画像解析では、この項目 7 は特に分類していない。その分の面積は項目 6 に含まれている。図 3-5-1 で示す際にも、項目 6 と項目 7 の色は区別していない。項目 8 は建造物を指し、住居や牛舎、道路や市街地の大部分を指している。項目 9 は海岸である。海沿いにしか存在しない。項目 10 は海である。項目 11 は不耕作地で森林や海岸以外のものを指しており、茂みや湿地、荒れ地などを示している。項目 12 は画像に写り込んでしまった雲である。図 3-5-2 に示す範囲では、項目 0, 9, 10, 11, 12 は存在しない。

3.4 衛星画像解析改良手法の開発

3.4.1 衛星画像解析改良 フィリング

図 3-3-2 でも土地利用/土地被覆は明確に分類されているが、中には森林（項目 1）の間にトウモロコシ畑（項目 2）が散在していたり、明らかに事実と異なる土地利用/土地被覆も存在している。これは、衛星画像上、森林の一部の植物とトウモロコシが似た特徴を持っているために、正確に二つのグループを分けきれずに発生する誤分類である。また、わずかであるが、更新草地（項目 5）の区画の中に植生の少ない牧草地（項目 6）も見られる。

これらを修正するために、本研究では統計的なフィリング（穴埋め）を行った。これは、それぞれの画素の周囲 8 ピクセルで多数決を行い、頻度の少ない項目を消去して最も頻度の多い項目で上書きするという方法である。本研究でこのフィリングを採用したのは、対象地域である別海町の土地利用/土地被覆は、使用した衛星画像の解像度と比較して十分に広くフィリングをしても間違った補正にならないことが想定されたためである。

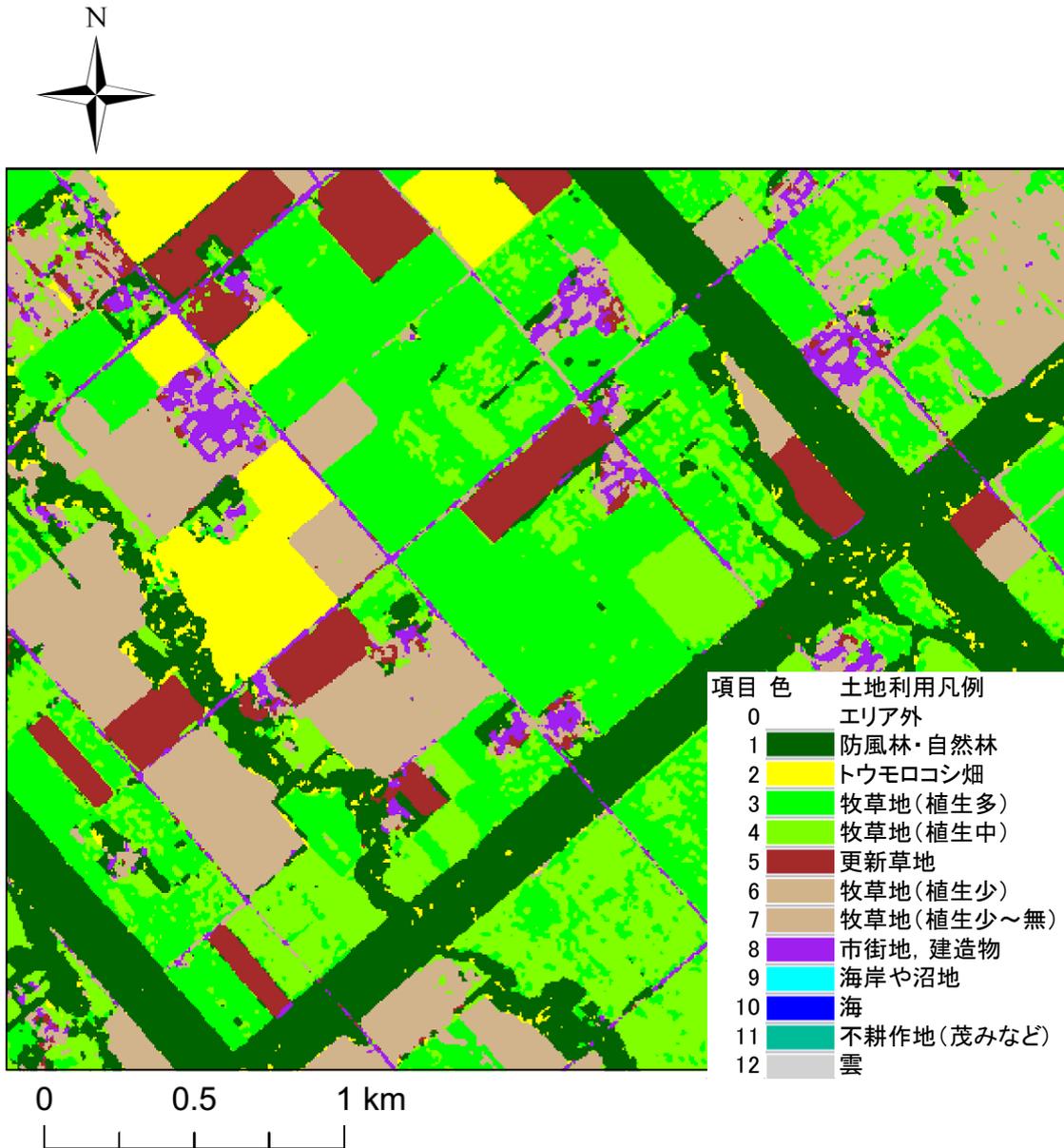


図 3-4-1 土地利用/土地被覆判別事例 1-2 図 3-5-2 の土地利用/土地被覆判別結果
筆者作成

フィリングを行った結果が図 3-4-1 である。森林(項目 1)の間にトウモロコシ畑(項目 2)が散在するという誤識別が大きく減少している様子が確認できる。また、牧草地・更新草地の区分もより明確になっている。現地を観察した土地利用/土地被覆データと照らしこちらの図がより実際の土地利用/土地被覆に近いと考えられたために、本研究では、フィリングを行った後の結果を最終的な土地利用/土地被覆分類結果とする。

3.4.2 衛星画像解析改良手法の開発 セグメンテーション

3.4.1 節の補正の上でも、まだ森林（項目 1）の間にトウモロコシ畑（項目 2）が混在していたり、市街地（項目 8）の間に植生の無い牧草地（項目 6）が混在したり、茂みを過って牧草地（項目 3）と分類するという誤識別は残っていた。そこで本研究では、衛星画像のセグメンテーション（分割）を行い、牧草地と更新草地を詳細に統計分析するには、耕作地のみを対象とした地図上で分析を行うこととした。セグメンテーションとは、近傍の画素と近傍の画素で画像の色や形が大きく異なる場合、そこで区切るという処理である。セグメンテーションは自動化されて行われるが、それぞれの画像によって区切り位置が変化するだけでなく、細分化する面積の大きさなどの条件によっても変わる。試行錯誤の結果、本研究では、2013 年と 2014 年の Spot6 の画像で最もセグメンテーションによって自動的に生み出された区切りが現実の圃場や森林との区切りに近かった。そこで、2013 年 Spot6 の画像と 2014 年 Spot6 の画像を繋げて範囲を広げた画像を対象にセグメンテーション処理を行った。セグメンテーション処理では、住居等の比較小さなものを見落とさず、圃場を細分化しすぎない程度の大きさに設定した。



図 3-4-2 2014 年 9 月 21 日の Spot6 衛星画像におけるセグメンテーション結果
筆者作成

図 3-4-2 は、2014 年 9 月 21 日の Spot6 衛星画像をセグメンテーションしたものである。画像は赤の図中赤の線で区切られている。色合いが均一である圃場区画では線は区切られにくいですが、土地利用/土地被覆が多様な市街地（図中央右より）では、非常に細かく分割されている。また、圃場と圃場の中の農道も、細長く区分されている。この画像において、①面積が 10a より小さな区分②トウモロコシ畑や牧草地を除いた耕作地ではない土地（項目 0,1,8,9,10,11）の割合が 8 割以上の区分の二つを抽出した。



図 3-4-3 セグメンテーション結果の抽出

筆者作成

その結果が図 3-4-3 である。青線の部分で示される区分箇所は、林地や市街地で大幅に減少しており、かつ、圃場においては欠けていないことが確認できる。この結果をふまえて、圃場部分の区分を消さないように注意しながら手動で残りの森林や市街地の区分を消去した。



図 3-4-4 セグメンテーションの最終抽出結果

筆者作成

その結果が図 3-4-4 である。白色の線で示される区分箇所は、林地や市街地をほぼ完全に除去した上で、圃場を残している。

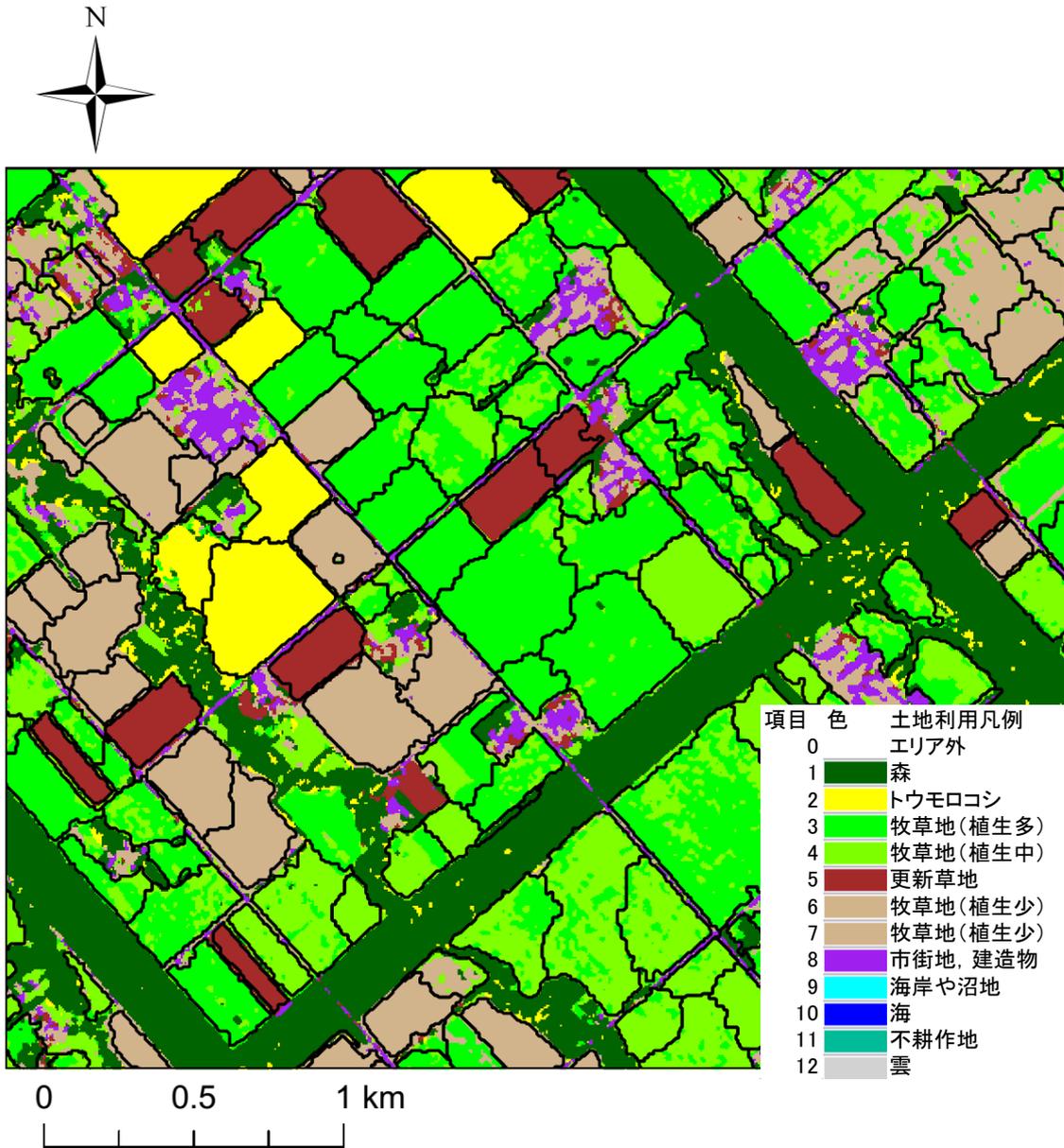


図 3-4-5 セグメンテーションの土地利用/土地被覆分類結果への適用
筆者作成

以上のセグメンテーションを図 3-4-1 の土地利用/土地被覆分類結果に重ね合わせたものが図 3-4-5 である。図中黒い路線で示される区分は、森林や住居を切り抜いている。森林の周りも黄緑色部分も一部切り抜かれているが、それは森林周囲の茂みを過って牧草地とした誤分類である。

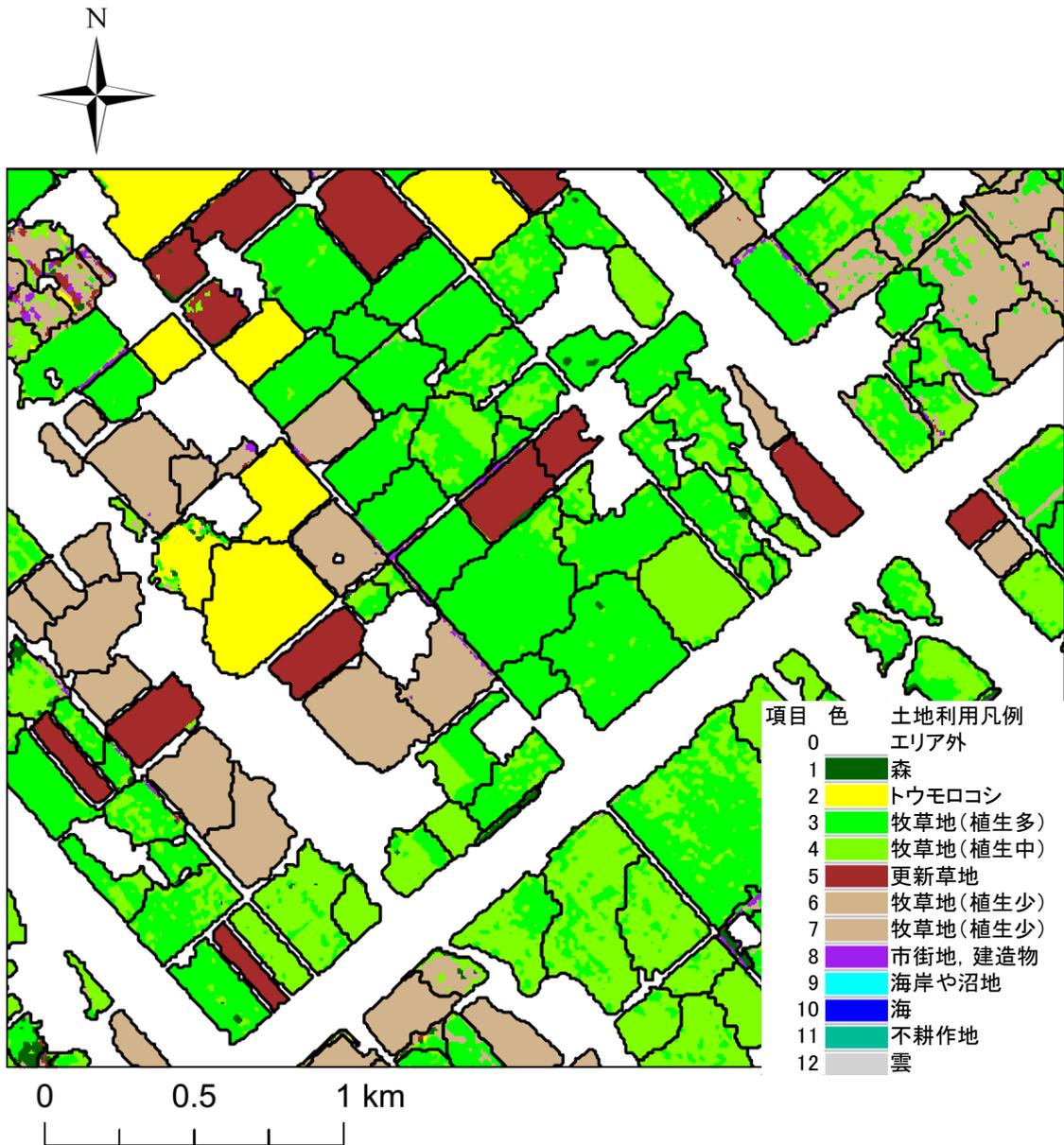


図 3-4-6 セグメンテーションによる土地利用/土地被覆分類結果の切り抜き
筆者作成

セグメンテーションの結果によって図 3-4-5 を切り抜いた図が図 3-5-6 である。図中から森林や市街地はほぼ消去された。以上の手法を開発・適用することによって、本研究では、牧草地の分析をより正確に行うことを実現した。

4. 牧草更新地の特定結果と予備的考察

4.1 土地利用/土地被覆分類結果

以下では、対象地全体の土地利用/土地被覆の分類結果を示し、その面積を表であらわす。圃場のみ抽出した際の分析結果は次節以降の更新地の分析に用い、本節では、土地利用/土地被覆全体の面積について概観する。

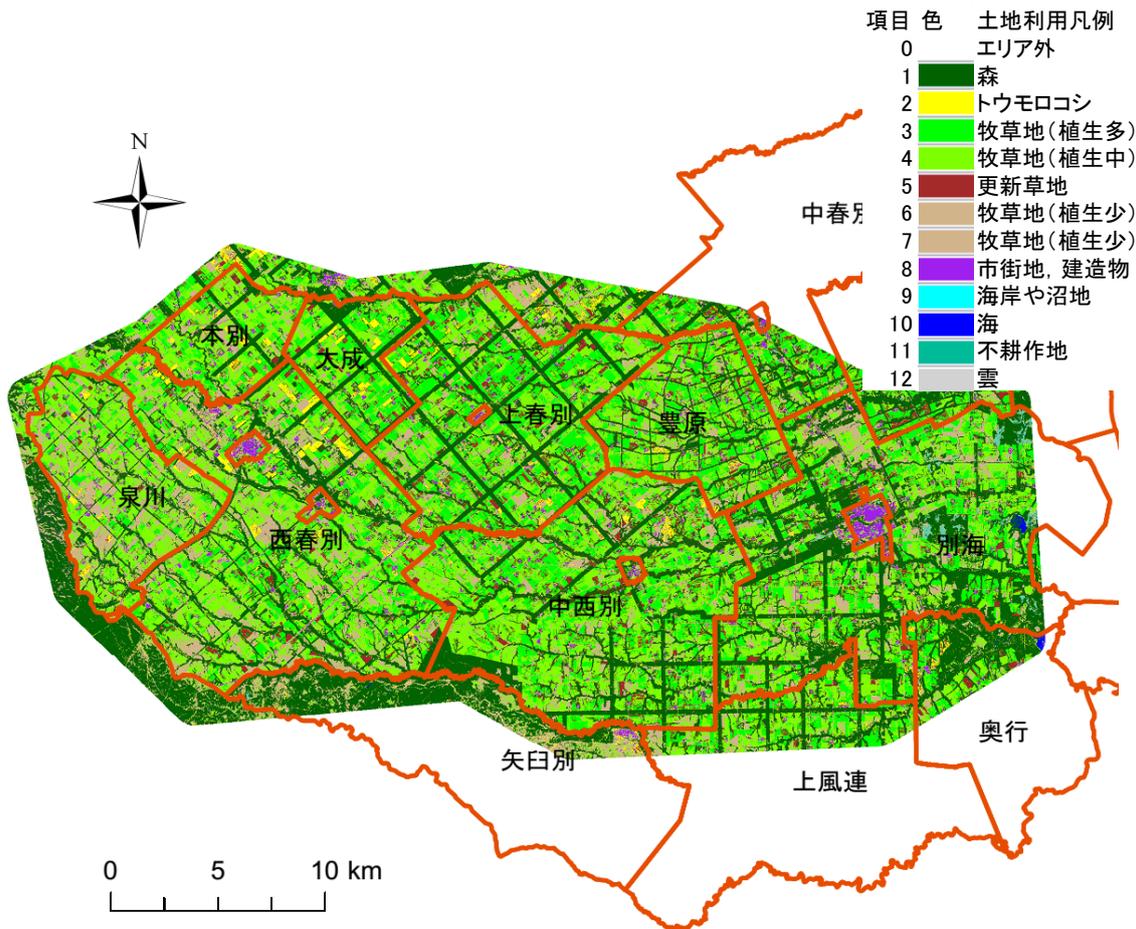


図 4-1-2 2011/11/1 Rapideye 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果
筆者作成

表 4-1-2 2011/11/1 Rapideye 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha)

項目	土地利用凡例	本別	上春別	大成	豊原	西春別	別海	泉川	中西別	合計
0	エリア外	0	0	0	0	0	379	0	0	379
1	防風林・自然林	600	2390	819	1173	3494	5470	983	3366	18294
2	トウモロコシ畑	107	197	101	71	514	215	150	151	1506
3	牧草地(植生多)	433	2614	761	1186	1999	2343	461	2513	12311
4	牧草地(植生中)	1143	2879	882	1756	5354	3949	2538	4792	23293
5	更新草地	111	713	145	410	560	725	134	902	3701
6	牧草地(植生少)	402	951	178	547	2844	2001	1425	1496	9844
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	市街地, 建造物	44	117	33	55	216	193	84	116	857
9	海岸や沼地	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	海	0	0	0	0	0	30	0	0	31
11	不耕作地	1	5	1	2	16	222	2	9	258
12	雲	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計		2841	9867	2920	5199	14997	15526	5777	13346	70474

筆者作成

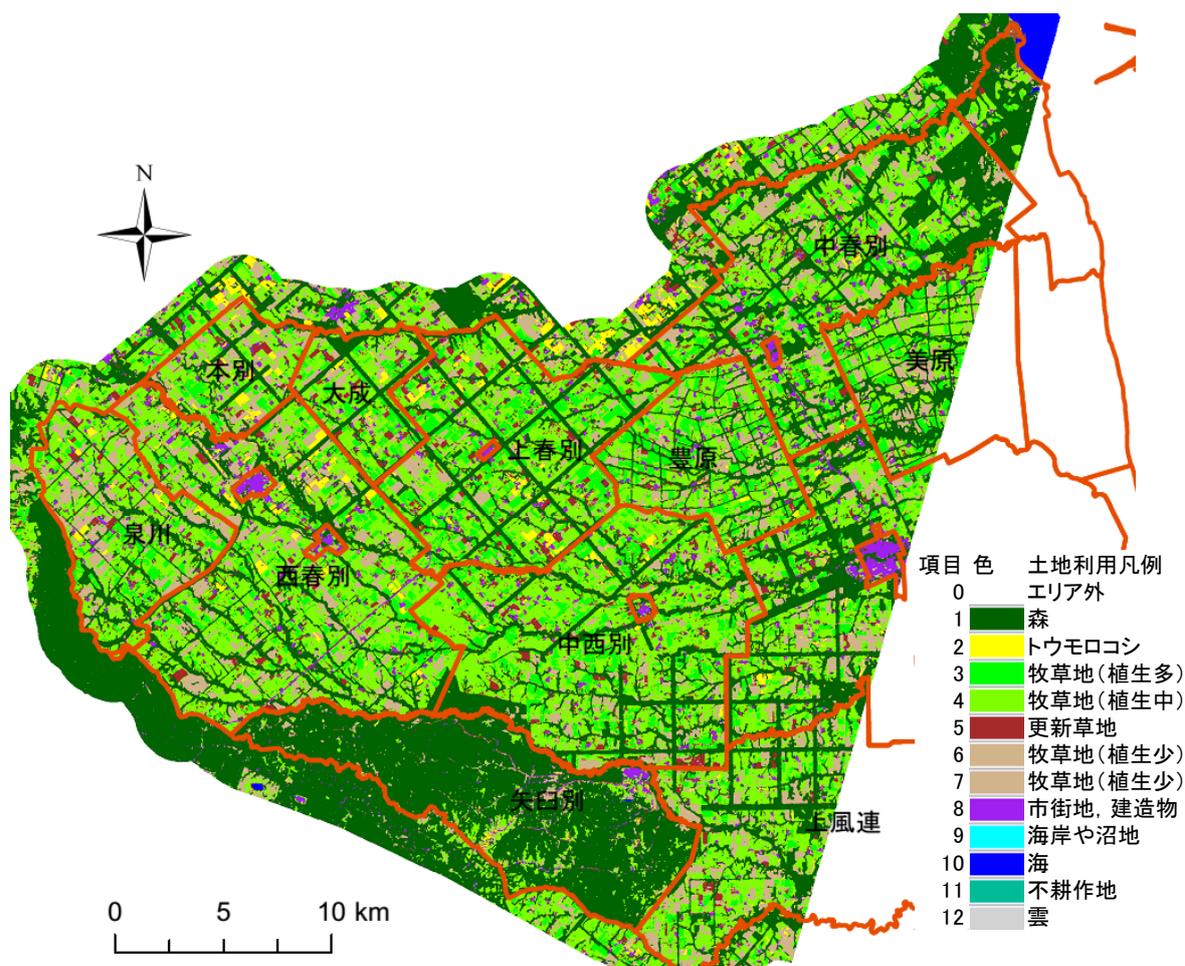


図 4-1-3 2012/10/19 Spot4 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果
筆者作成

表 4-1-3 2012/10/19 Spot4 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha)

項目	土地利用凡例	ha							合計
		中春別	美原	本別	上春別	大成	豊原	西春別 別海	
0	エリア外	216	2322	0	0	0	0	0	8920
1	防風林・自然林	4737	1461	588	2422	781	1145	3676	3029
2	トウモロコシ畑	93	28	121	236	44	52	369	116
3	牧草地(植生多)	1204	627	231	1639	414	924	1205	620
4	牧草地(植生中)	3764	1371	1046	3828	1124	1961	6468	2526
5	更新草地	433	110	135	631	180	216	620	235
6	牧草地(植生少)	1647	614	605	810	287	737	2155	986
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0	0	0	0	0
8	市街地, 建造物	282	73	100	254	66	131	436	234
9	海岸や沼地	0	0	0	0	0	0	0	0
10	海	3	2	1	4	1	1	3	4
11	不耕作地	28	11	15	42	23	32	64	29
12	雲	0	0	0	0	0	0	0	0
合計		12407	6619	2841	9867	2920	5199	14996	16698

項目	土地利用凡例	ha				合計
		泉川	中西別	上風連	矢臼別	
0	エリア外	0	0	4981	0	16439
1	防風林・自然林	1179	3587	2238	8354	33195
2	トウモロコシ畑	104	120	77	66	1426
3	牧草地(植生多)	495	1670	391	0	9421
4	牧草地(植生中)	2419	5840	2638	658	33644
5	更新草地	255	724	221	17	3778
6	牧草地(植生少)	1137	1122	1205	450	11755
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0	0
8	市街地, 建造物	160	248	98	200	2282
9	海岸や沼地	0	0	0	0	0
10	海	0	2	3	4	27
11	不耕作地	29	32	12	91	408
12	雲	0	0	0	0	0
合計		5778	13346	11864	9839	112374

筆者作成

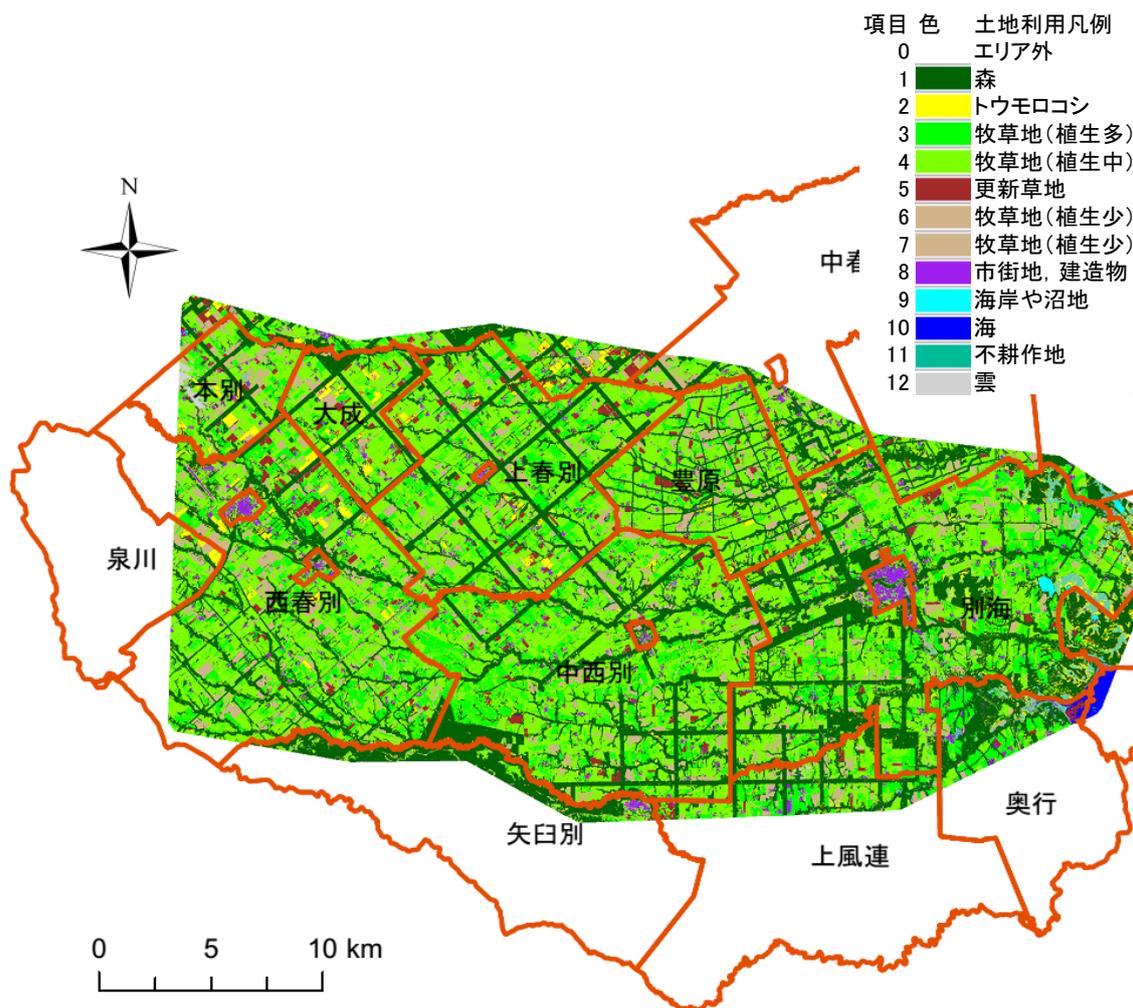


図 4-1-4 2013/10/4 Spot6 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果
筆者作成

表 4-1-4 2013/10/4 Spot6 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha)

項目	土地利用凡例	本別	上春別	大成	豊原	西春別	別海	中西別	合計
0	エリア外	160	0	0	0	401	0	0	561
1	防風林・自然林	464	2440	795	1327	3109	5846	3767	17749
2	トウモロコシ畑	100	155	130	61	320	466	135	1368
3	牧草地(植生多)	214	1418	249	351	1918	2354	2098	8602
4	牧草地(植生中)	1043	4651	1356	2696	5610	5670	5956	26982
5	更新草地	88	312	114	163	357	330	273	1636
6	牧草地(植生少)	351	639	198	483	1249	1035	848	4801
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0	0	0	0	0
8	市街地, 建造物	52	160	56	72	224	285	165	0
9	海岸や沼地	0	0	0	0	0	45	0	1012
10	海	0	0	0	0	2	32	1	46
11	不耕作地	24	86	23	43	116	591	95	36
12	雲	80	6	1	3	7	46	8	977
合計		2578	9867	2920	5199	13312	16699	13346	63922

筆者作成

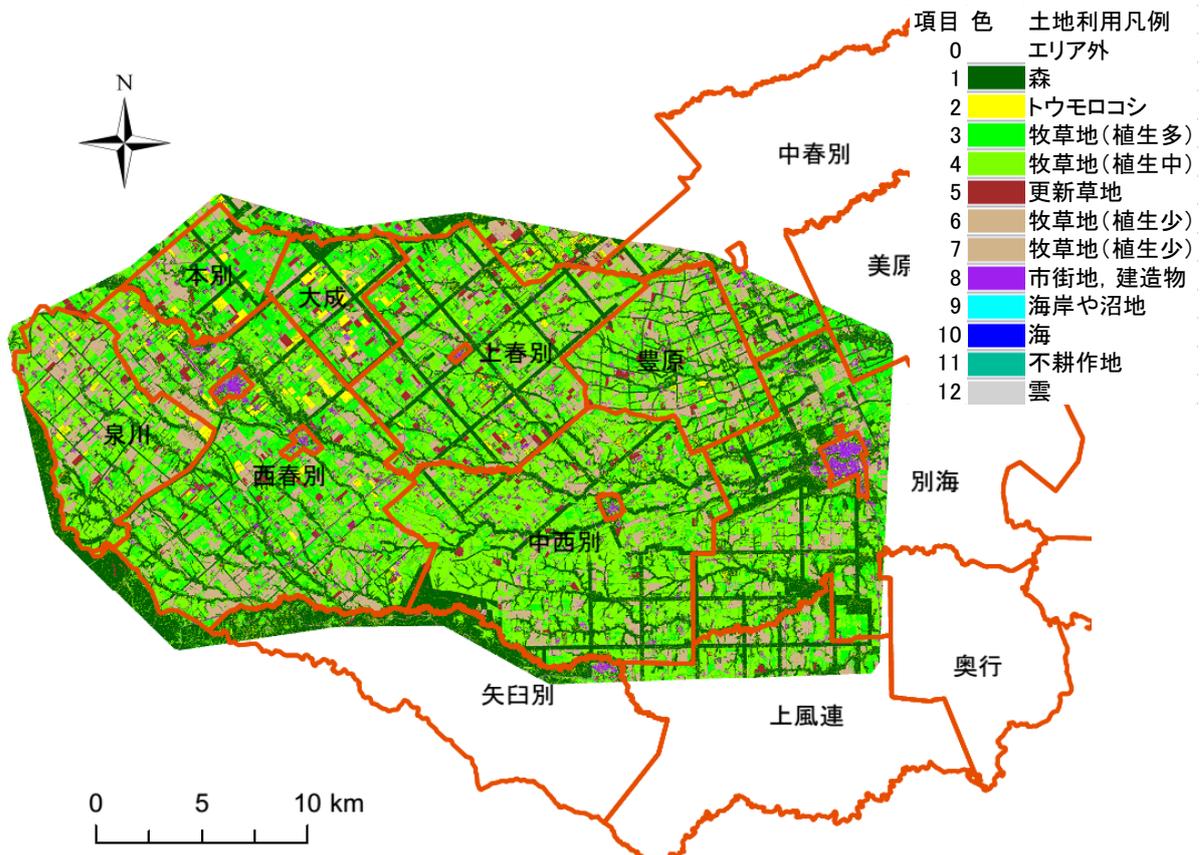


図 4-1-5 2014/9/21 Spot6 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果

筆者作成

表 4-1-5 2014/9/21 Spot6 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha)

項目	土地利用凡例	本別	上春別	大成	豊原	西春別	別海	泉川	中西別	合計
0	エリア外	0	0	0	0	0	326	7	0	334
1	防風林・自然林	659	2579	797	1312	3796	3736	1263	3930	18071
2	トウモロコシ畑	140	235	182	103	520	154	187	122	1642
3	牧草地(植生多)	788	1296	772	543	2665	1049	551	951	8614
4	牧草地(植生中)	573	3835	565	1972	4512	3106	2243	6475	23279
5	更新草地	95	371	127	155	392	80	135	226	1581
6	牧草地(植生少)	406	1054	260	723	1866	858	816	1205	7188
7	牧草地(植生少)	106	291	145	314	859	268	467	250	2699
8	市街地, 建造物	75	208	72	76	388	234	109	188	1351
9	海岸や沼地	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	海	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	不耕作地	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	雲	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計		2841	9867	2920	5199	14997	9811	5777	13346	64758
	エリア外の割合	0	0	0	0	0	0	0	0	0

筆者作成

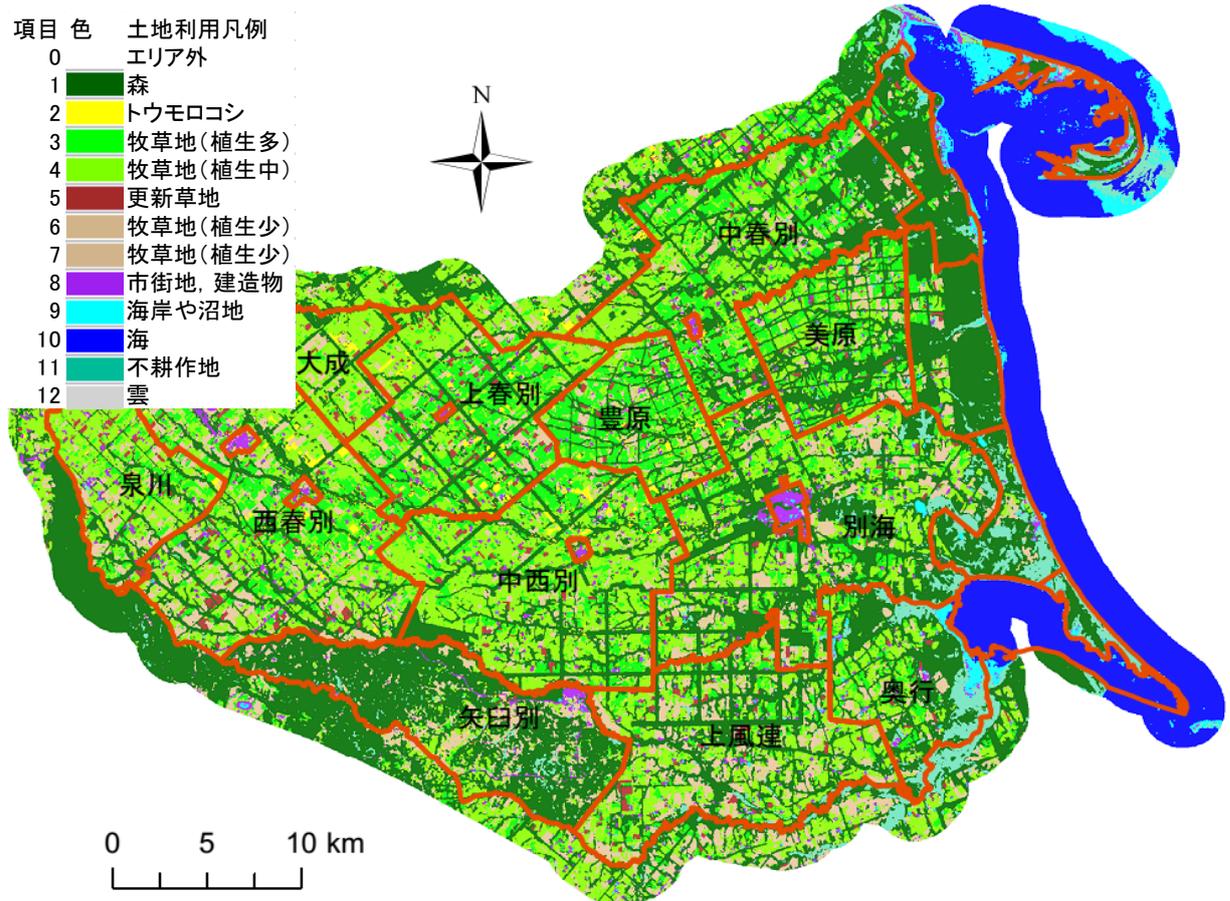


図 4-1-6 2015/10/27 Landsat8 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果

筆者作成

表 4-1-6 2015/10/27 Landsat8 衛星画像 土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha)

項目	土地利用凡例	ha							
		野付	尾岱沼	中春別	床丹	美原	本別	上春別	大成
0	エリア外	0	0	0	0	0	0	0	0
1	防風林・自然林	374	2437	5278	3254	2862	493	2545	692
2	トウモロコシ畑	0	0	68	0	2	120	287	54
3	牧草地(植生多)	0	186	2614	195	1265	650	2632	198
4	牧草地(植生中)	5	100	3168	218	1609	1162	2960	1645
5	更新草地	0	41	170	31	135	34	413	81
6	牧草地(植生少)	43	112	897	210	588	338	848	234
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0	0	0	0	0
8	市街地, 建造物	141	47	152	52	95	44	170	15
9	海岸や沼地	297	82	21	44	39	0	7	0
10	海	23	1	0	0	0	0	0	0
11	不耕作地	394	185	39	154	24	1	4	1
12	雲	0	0	0	0	0	0	0	0
合計		1277	3191	12407	4157	6620	2841	9867	2920
	エリア外の割合	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

項目	土地利用凡例								
		豊原	西春別	別海	泉川	本別海	中西別	走古丹	風蓮湖
0	エリア外	0	0	0	0	0	0	0	132
1	防風林・自然林	1442	3880	7379	1061	1449	3953	272	0
2	トウモロコシ畑	107	367	71	74	0	232	0	0
3	牧草地(植生多)	1902	2620	1447	697	8	2031	0	0
4	牧草地(植生中)	932	4907	4222	2725	98	5654	1	0
5	更新草地	141	449	203	192	2	233	0	0
6	牧草地(植生少)	581	2282	2044	778	152	958	17	0
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0	0	0	0	0
8	市街地, 建造物	89	461	417	227	61	251	25	0
9	海岸や沼地	2	10	107	10	83	9	174	126
10	海	0	0	9	0	3	0	13	2742
11	不耕作地	3	22	796	14	858	25	338	4
12	雲	0	0	0	0	0	0	0	0
合計		5198	14998	16697	5778	2714	13346	840	3004
	エリア外の割合	0	0	0	0	0	0	0	4.4

項目	土地利用凡例				合計
		奥行	上風連	矢臼別	
0	エリア外	0	0	0	132
1	防風林・自然林	2752	4644	7062	51829
2	トウモロコシ畑	1	2	18	1400
3	牧草地(植生多)	458	752	135	17791
4	牧草地(植生中)	1115	3416	630	34568
5	更新草地	57	310	39	2533
6	牧草地(植生少)	480	2297	1407	14265
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0
8	市街地, 建造物	116	202	294	2860
9	海岸や沼地	299	39	13	1360
10	海	56	0	0	2848
11	不耕作地	894	203	239	4200
12	雲	0	0	0	0
合計		6229	11865	9837	133785
	エリア外の割合	0	0	0	0.10

筆者作成

図 4-1-1 は 2010/8/6 Rapideye 衛星画像である。以下、図 4-1-1~図 4-1-5 は、東の沿岸部では圃場が見られないことや衛星画像データが手に入りづらかったことから、分析の関心である別海町の西よりを拡大して映している。また、表 4-1-1 は同 2010/8/6 Rapideye 衛星画像の土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha) である。表 4-1-1~表 4-1-6 では、撮影範囲外 (エリア外) の面積割合が大きい地区は、土地利用面積の参考とできないと判断し、あらかじめ表から除いてある。

Rapideye は 5m の解像度であり、本研究対象地域である別海町や北海道における牧草地にとって十分に細かく土地利用/土地被覆を判別できると考えられる。図中央上部において、深緑色が示す森が格子状にあるが、それは防風林である。その一方で直角ではなく細く枝分かれしながらのびている森は自然林であり、図 3-3-4 で示した川のうち、流量が十分に多い川の周囲である。黄緑や黄土色が示す牧草地は川と川の間広がっていることが分かる。

トウモロコシ畑の分布に関して、豊原や中西別といった地域では、上春別や大成といった地域よりトウモロコシの作付けが少ない傾向が見て取れる。表 4-1-1 が示すように、約 2900ha の大成において 69ha のトウモロコシ畑が確認されたのに対し、約 5200ha の豊原全域において、トウモロコシ畑は 36ha しか観察されなかった。別海町内においては、西側の山手でより多くトウモロコシが栽培されている実態が明らかになった。

牧草地は全体に分布する。図中では唯一、矢白別は自衛隊の演習場があり、周りが森に囲まれている区域が広いため、牧草地は少ない結果となった。更新草地は上春別や西春別、中西別において、それぞれ 167ha、175ha、162ha とその他の地域と比較して多く見られる。また、図 4-1-1 からは、更新草地が別海町内の北部に比較的多く分布している様子が確認された。

図中の黄土色の画素の分布から、牧草地の植生は泉川地区や西春別地区で比較的少ないことが明らかになった。例えば泉川地区では、牧草地全体の割合 (項目 3~7 の合計) が 36300ha と面積全体の 76% を占めるが、植生の少ない牧草地 (項目 6) の割合は 14% にのぼっている。ただし、これはあくまで 8 月 6 日での植生のモニタリング結果である。また、雑草侵入状況などの牧草地の品質もここでは区別していない。最も重要な一番草収穫直前の時期に、植生の総量や雑草の占有率などの品質を明らかにすることができれば、それぞれの圃場の評価を行い、管理のあり方の検討ができると考えられる。

本研究では別海町の広域における牧草地面積及び更新草地面積の推計を目的としており、雑草混入を区別する調査データは取られていない。中坪ら(2013)による航空機リモートセンシングによる雑草の現存量把握や、牧野ら(2010)による 1~3m 解像度の高分解能マルチスペクトル衛星データを用いた地下茎型イネ科雑草侵入程度の把握に見られるように、植物種を判別した測定にはより解像度の高い衛星データや取得する波長の範囲が広いセンサ

一が必要とされ、撮影範囲も限られるが、広い地域での正確な植生把握が、草地更新等を通じた牧草地の生産性向上および自給飼料改善における政策決定に大きく寄与しうると考えられる。

図 4-1-2 は 2011/11/1 Rapideye 衛星画像である。表 4-1-2 は同 2010/8/6 Rapideye 衛星画像の土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha) である。解像度は同じく 5m である。撮影時期が 11 月であり、2010 年の 8 月の土地利用/土地被覆の分布と季節は異なるが、土地利用そのものは大きく変わらない様子が分かる。

また、この画像では、別海の西部も確認できる。西部の海の近くには、沼地や、湿地などの牧草地に向いていない土地が多く存在している。それらは図中で水色や青緑色に示されている。しかし、表 4-1-2 から分かるように、図 4-1-2 におけるそれらの森や農地、市街地以外の土地利用/土地被覆面積は非常に小さい。最も面積が大きい項目 11 の不耕作地でも、合計で 258ha、割合は 0.4% である。

図 4-1-2 と同じように、上春別や大成においてトウモロコシ畑が多く確認された。また、上春別においては、更新草地面積が 713ha と非常に多く見られた。表 4-1-1 での 167ha と比較し大幅に増えているが、これは画像の撮影年時の違いが結果に影響している可能性もある。表 4-1-1 では、画像は 8 月初旬であり、未だ草地更新作業が行われていない圃場もあり、更新草地面積が過小に評価されてしまったことも考えられうる。Rapideye による 5m 解像度の画像で、土地被覆は明確に識別することができたが、時期がずれることによって正確な土地利用を把握することが難しくなることに留意しなければならない。

図 4-1-3 は 2012/10/19 Spot4 衛星画像の土地利用/土地被覆分類結果で、表 4-1-3 は同 2012/10/19 Spot4 衛星画像の土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha) である。

この Spot4 は現在取得可能な一連の Spot 衛星画像の中でも比較的解像度は低く 20m である。その一方で、撮影範囲が広いのが特徴である。図 4-1-3 でも南北に広い範囲を撮影している。2010 年、2011 年の画像でも観察されたことであるが、泉川地区は比較的植生の少ない牧草地が多いことが分かる。全牧草地は 74.5% を占めるが植生の少ない牧草地が 19.7% である。

図 4-1-4 は 2013/10/4 Spot6 衛星画像の土地利用/土地被覆分類結果である。表 4-1-4 はその土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha) を示す。この年時では、泉川地区の衛星画像が得られなかったが、西春別地区、本別地区の大半と別海地区の全域を得ることができている。

他の年次で全域の衛星データが得られているのは 2015 年に限られるが、別海地区で 330ha の更新草草地が確認された。これは、牧草地全体 (9355ha) のうちの 3.5% にあたる。

図 4-1-5 は 2014/9/21 Spot6 衛星画像の土地利用/土地被覆分類結果で表 4-1-5 は

その土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha) を示す。ある。この年は全体に植生が少ない牧草地が多い。またそのような傾向は特に西春別の南部や豊原の全体において顕著である。トウモロコシの作付けは二種真別の北部、大成、本別で特に盛んであるということがこの図から見て取れる。

図 4-1-6 は 2015/10/27 Landsat8 衛星画像の土地利用/土地被覆分類結果で表 4-1-6 はその土地利用/土地被覆分類結果面積 (ha) を示す。ある。年次が最も新しくかつ別海町の全域をカバーしていることから、この画像に関しては、別海町の土地利用/土地被覆の現状を概観するためにその全域を示す。

Landsat8 は、解像度は 30m と本研究での使用衛星画像の中では最も粗い。しかし、画像範囲が広く、またセンサーが検知する波長の範囲も広いため、対象物によっては他の衛星画像より正確に土地利用/土地被覆を判別できる。

図中の森は矢臼別とその南西、別海地区、海岸部で多く分布しており、その周辺の地区でも、いる。そのほかには防風林と川沿いの森が分布している。防風林の中でも最も形が整った地域は上春別地区である。河川が少なく切り開きやすかったという地形的な要因のほか、美原地区や豊原地区では 1955 年からの早い段階でパイロットファーム事業が行われた（武石 1968; 村上 2014）のに対し、上春別の開発は遅かったために、初めから大規模を志向し、区画を大きくまとめやすかったことも考えられる。

4.2 土地利用/土地被覆の歴年比較

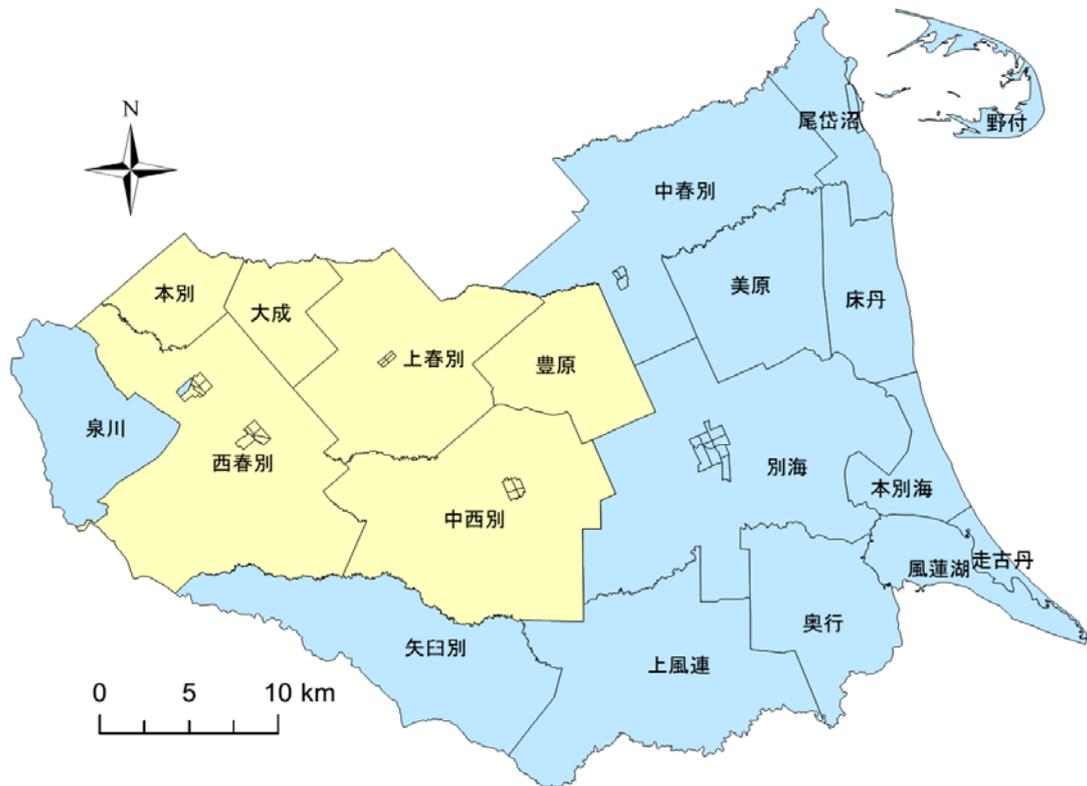


図 4-2-1 2010~2015 年でデータが取得できた 6 地区

筆者作成

表 4-2-1 本別、西春別、大成、上春別、豊原、中西別地区における土地利用/土地被覆

6地区合計		ha					
項目	土地利用凡例	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	エリア外	63	0	0	561	0	0
1	防風林・自然林	10637	11841	12199	11903	13072	13005
2	トウモロコシ畑	881	1141	942	902	1301	1166
3	牧草地(植生多)	6535	9506	6084	6248	7014	10033
4	牧草地(植生中)	24919	16806	20267	21313	17930	17261
5	更新草地	682	2842	2507	1306	1365	1352
6	牧草地(植生少)	4192	6419	5716	3767	5514	5239
7	牧草地(植生少)	0	0	0	0	1965	0
8	市街地, 建造物	1262	580	1235	728	1008	1030
9	海岸や沼地	0	0	0	1	0	28
10	海	0	0	12	3	0	0
11	不耕作地	0	34	208	386	0	57
12	雲	0	0	0	105	0	0
合計		49171	49171	49169	47223	49170	49171

筆者作成

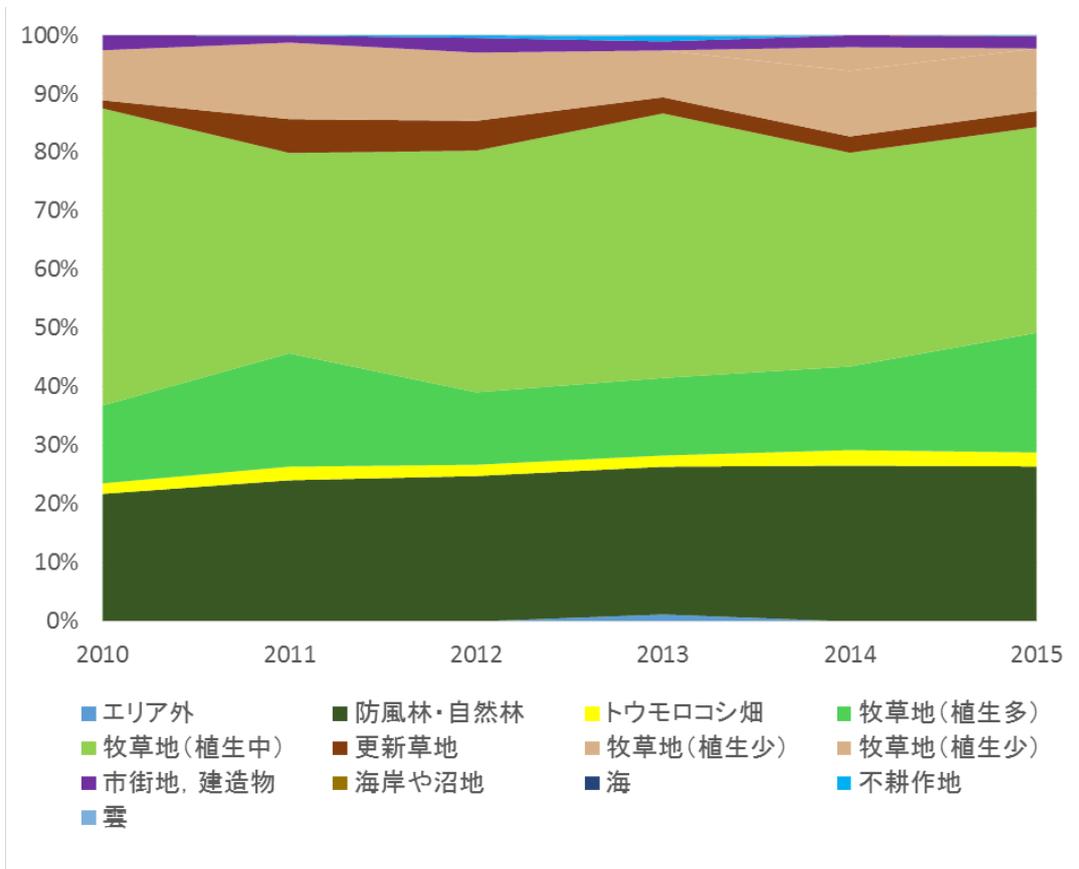


図 4-2-2 6 地区での土地利用/土地被覆面積割合の遷移

筆者作成

図 4-2-1 はデータが取得できた 6 地区の位置である。これらの地区では、2010～2015 年の全ての年次で 9 割以上の土地利用/土地被覆を明らかにできた。そこで、これらの 6 つの地区、本別、西春別、大成、上春別、豊原、中西別地区についての合計とその年次変化を分析する。6 地区の土地利用/土地被覆の年次変化を表でまとめたものが表 4-2-1 である。

図 4-2-2 は 6 地区での土地利用/土地被覆面積割合の示したものである。最も下に位置している深緑色が防風林・自然林といった森や林の土地利用である。面積は 20～25%で推移しており、大きな変化はない。その上に黄色に見えるのがトウモロコシ畑の面積割合で、1.8%～2.6%で推移している。2014 年に最も割合が大きいが (2.6%)、2010 年～2015 年で単調な増加もしくは減少は見られなかった。

牧草地は図中黄緑色から黄土色の層である。これは 69%～74%を占めた。季節による違いのほか、土地利用/土地被覆全体では、植生の少ない牧草地 (黄土色) 部分が市街地の一部に混交している場合を除外できていないので、その混交の度合いも年次によって数字の

開きが生じる要因になる。しかしながら、次節以降の牧草地の分析では、3-6節による圃場の抽出処理で市街地を完全に除去しているためにこの誤差は生じない。植生の多い牧草地は2012年以降増加しているようであるが、植生の少ない圃場も増減を繰り返しているために、植生が改善されているとは言いがたい。2013年に少しだけ上に突き出ているが、これは雲が混じっていることによって底上げされていることも一因である。

表 4-3-1 本別，西春別，大成，上春別，豊原，中西別地区で圃場を抽出した範囲における土地利用/土地被覆

6地区合計		ha					
項目	土地利用凡例	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	 防風林・自然林	322	1192	748	526	868	1343
2	 トウモロコシ畑	818	629	857	639	865	863
3	 牧草地(植生多)	6353	9122	5813	5785	6499	9362
4	 牧草地(植生中)	19440	14406	15815	18077	15855	13444
5	 更新草地	532	1801	2185	1036	1018	1336
6	 牧草地(植生少)	3105	3801	5323	3088	3965	4396
7	 牧草地(植生少)	0	0	0	0	1776	0
8	 市街地, 建造物	0	55	238	47	100	176
9	 海岸や沼地	423	0	0	0	0	0
10	 海	0	2	15	1	0	6
11	 不耕作地	0	14	176	132	0	18
12	 雲	0	0	0	61	0	0
合計		30993	31022	31169	29391	30947	30946
	牧草地全体	29430	29130	29136	27985	29114	28539
	更新草地	532	1801	2185	1036	1018	1336
	更新割合(%)	1.81	6.18	7.50	3.70	3.50	4.68

筆者作成

表 4-3-1 はデータが取得できた 6 地区の位置である。2010～2015 年の全ての年次で 9 割以上の土地利用/土地被覆を明らかにできた 6 つの地区，本別，西春別，大成，上春別，豊原，中西別地区についての合計とその年次変化を分析する。6 地区の土地利用/土地被覆の年次変化を表でまとめたものが表 4-2-1 である。表の下部には牧草地全体と更新草地の面積，および更新草地の割合（表中の更新割合）を出している。更新草地の割合は，2010 年のみ 1.8% と低い。これは，2010 年の衛星画像が 8 月 6 日であり，更新がすべて行われていないことが一因として考えられる。その一方で，2011 年，2012 年は 6.2%，7.5% と高く，2013 年以降は 3.7%，3.5%，4.7% と推移している。ここで，丸川（2010）が北海道全体における 1998 年～2008 年の草地更新率を 3～5% で推移すると示している。2013 年以降は概ね全体の平均と一致するような更新率であったといえる一方で，この更新率では 20 年～30 年に一度のみ草地更新を行うこととなり，草地生産性（松中 1987）の観点からは，より頻繁な更新の必要性が考えられる。

5. 草地更新の計量経済分析

5.1 計測の方法とデータ

本章では、ここまで特定した更新地のデータをもとに、草地更新率の決定要因を計量分析から明らかにする。ただし、リモートセンシングによる解析はラスターデータに基づくものであるため、どこで更新がなされたかは明らかにできるが、更新率の決定要因を分析するためのその他のデータとの接続を行うことが困難である。そのため、ここでは農業集落ごとに更新率を集計し、農業センサスのデータとの接続を行い、農業集落を単位として分析を進める。分析に用いたのは2014年単年分の更新データである。

まず、計量分析をおこなうにあたって、2章における考察をもとに更新率の決定要因を定式化する。2章において更新率の決定要因として挙げられたのは、配合飼料価格、乳牛あたり牧草供給量、経営内労働力保有量、主たる酪農従事者の年齢、後継者の有無、周囲の更新状況、経営主の草地管理の知識、更新の効果に関する情報であった。これらを説明変数として計量分析を行うわけであるが、クロスセクションデータという性質上、配合飼料の価格水準は各経営共通のものとなるため、分析からは除外する。また、後継者の有無については、2010年度センサスでは調査を行っていないため、説明変数に含めることはできなかった。労働力の保有状況については、雇用を行うことによって外部から労働力獲得を行っているかという意味で雇用労働力の状況を、乳用牛の飼養頭数が大きくなると労働がひっ迫するため乳用牛飼養頭数を説明変数として加えた。酪農従事者の年齢については、高齢農業者の割合を加える。ここに、周辺の更新状況と経営主の知識レベルを加えると、次式のように表現される。

草地更新率

= f (乳牛あたり牧草地面積, 高齢農業者割合, 乳用牛飼養頭数, 雇用労働力, 周辺の更新状況, 知識レベル)

この式を線形で特定化し、推計を行うわけであるが、近隣の更新状況と経営主の知識レベルについては、自身の周辺の経営と相互に影響を与えあうということが想定される。こうした近隣と相互影響については空間自己回帰(SAR)モデルを分析に用いることによって計測に組み込むことができる。更新に関する情報についても、周辺でどの程度更新を行っているかが大きな影響を与えると考え、空間ラグによってまとめて効果を推計する。

SARモデルは以下のように特定される。

$$y_i = \alpha + \mathbf{X}\beta + \rho \mathbf{W}y + \varepsilon_i \quad (1)$$

ここで、 α は切片、 \mathbf{X} は外生変数ベクトル、 β は外生変数のパラメータベクトル、 ρ は空間的自己相関のパラメータ、 \mathbf{W} は空間重み行列である。

表 5-1-1 記述統計

	平均	標準偏差
草地更新率(%)	3.548	2.368
平均乳用牛飼養頭数	121.449	30.789
平均牧草地面積 (a)	6572.55	1523.63
乳用牛あたり牧草地面積(a/頭)	58.32	20.77
65 歳以上基幹的農業従事者割合	15.44	9.00
平均雇用日数 (人日/年)	108.83	111.92

分析に用いたデータの記述統計の結果を表 5-1-1 に記す。リモートセンシングによる草地更新データを農業集落単位で集計し、牧草地に占める更新地の割合を求めたものを従属変数とし、2010 年度世界農林業センサスによる農業集落単位のデータを説明変数として用いた。

草地更新率の平均は 3.5% であり、かなり低い値をとっている。ただし、場所によって 2.5% に届かない集落から 7.5% を超える集落もあり、集落間で更新割合に大きな差が存在していることがわかる。乳用牛の平均飼養頭数は非常に大きく、120 頭を超えているが、牧草地面積の標準偏差は比較的大きく、その結果乳用牛当たり牧草地面積は 20a 程度しかない集落も存在している。農業従事者に占める 65 歳以上の割合は 15% 程度であり、全国的に見ればかなり低い。1 経営あたりの平均雇用日数は 109 日であり、雇用の導入は進んでいるといえるが、標準偏差は大きく、ほとんど導入していない集落も存在している。

5.2. 計測結果

まず、表 5-2-1 に OLS による計測結果を記す。ここで有意となったのは乳用牛当たり牧草地面積のみであり、労働力の不足や高齢化、草地更新率に有意な影響を与えていないということが明らかとなった。

ここでの計測結果の誤差項の空間的自己相関を計測したのが表 5-2-2 である。ここでは、*30th Nearest Neighbors*、*Distance Based Neighbors within 10km*、*Distance Based Neighbors within 12.5km* を空間重み行列として採用したときに誤差項の空間的自己相関が有意となった。このことから、更新率には空間的自己相関が存在していることがわかる。そこで SAR モデルによる分析を行った結果が表 5-4 である。

表 5-2-3 の計測結果は、誤差項の空間的自己相関が有意となった 3 つの空間重み行列について計測を行ったものである。それぞれの結果に大きな差異は存在しないが、計測結果の AIC が最も低い *Distance Based Neighbors within 10km* の計測結果について解釈を行う。

説明変数による効果については、OLS によるものと大きな差はない。有意な説明変数は乳用牛当たり牧草地面積のみであり、経営あたりの牧草地賦存が更新への投資行動に大きな影響を与えるということは明らかとなった。

一方で、労働力の不足や高齢化といった問題は草地更新率に大きな影響を与えているとは言えず、近年の酪農経営の大規模化が草地の更新率に影響を与えているという仮説は少なくとも分析対象地域内では否定される。

表 5-2-1 OLS 結果

定数項	0.06 (0.02)***
平均乳牛飼養頭数	0.00 (0.00)
乳用牛あたり牧草地面積(a/頭)	-0.05 (0.02)***
65 歳以上基幹的農業従事者割合	0.05 (0.03)
平均雇用日数 (人日/年)	0.00 (0.00)
サンプル数	64
adjusted R^2	0.148
F 値	3.74***
AIC	-300.98

註：()内は t 値であり、***は 1%、**は 5%、*は 10%の有意水準。

表 5-2-2 空間的自己相関の検定 (LM Test)

空間重み行列	LM 統計量	p 値
<i>5th Nearest-Neighbors</i>	2.460	0.12
<i>10th Nearest-Neighbors</i>	1.393	0.24
<i>30th Nearest-Neighbors</i>	4.020	0.04
<i>50th Nearest-Neighbors</i>	0.022	0.88
<i>Distance Based Neighbors within 5km</i>	0.799	0.37
<i>Distance Based Neighbors within 7.5km</i>	2.365	0.12
<i>Distance Based Neighbors within 10km</i>	7.485	0.01
<i>Distance Based Neighbors within 12.5km</i>	3.404	0.07
<i>Distance Based Neighbors within 15km</i>	2.195	0.14
<i>Distance Based Neighbors within 17.5km</i>	1.600	0.21
<i>Distance Based Neighbors within 20km</i>	0.489	0.48

空間的自己相関のパラメータ ρ は有意であり、値も 0.575 と比較的大きい。周辺の更新状況が、各経営の草地更新の意思決定に対して大きな影響を与えているということが想定される。

ここでの ρ の解釈であるが、一つには周辺に雑草の多い更新されていない土地が多い場合に雑草の草地への侵入が起こりやすく、草地の劣化が早いために更新した場合のリターンが減少する、というものが考えられる。ただし、それだけでなく、周辺の多くの農家が盛んに更新を行っていることによる更新の効果に対する情報不足の解消や草地更新に関する勉強会等の地域内ネットワークによる農家内の草地更新に対する知識の蓄積の影響についても項の中に含んでいると考えられる。そうした総合的な影響により、草地の更新率に関しては、集落間の相互影響が大きな影響を持っている。

表 5-2-3 SAR モデル計測結果

	SAR <i>(30th Nearest-Neighbors)</i>	SAR <i>(Distance Based Neighbors within 10km)</i>	SAR <i>(Distance Based Neighbors within 12.5km)</i>
定数項	3.60 (1.74)*	3.50 (1.78)*	3.97 (1.87)**
平均乳牛飼養頭数	0.00 (0.30)	0.00 (0.26)	0.00 (0.32)
乳用牛あたり牧草 地面積(10a/頭)	-0.47 (-3.28)***	-0.45 (-3.24)**	-0.47 (-3.29)***
65 歳以上基幹的農 業従事者割合	0.05 (1.61)	0.04 (1.49)	0.05 (1.64)
平均雇用日数 (100 人日/年)	0.20 (0.85)	0.17 (0.77)	-0.18 (0.77)**
ρ (空間的自己相関の パラメータ)	0.554 (2.17)**	0.575 (2.78)***	0.477 (1.71)*
サンプル数	64	64	64
Log likelihood	157.8	158.9	157.6
AIC	-301.55	-303.76	-301.11

註：()内はz値，***は1%，**は5%，*は10%の
有意水準。

6. まとめ

本報告書は、牧草地の更新率がどのような要因に左右され、更新率の低下が生じてきたのかを分析することを目的として執筆を行ってきた。分析を行うにあたっては、ミクロな範囲での更新率のデータが存在しないことから、分析対象を絞って、リモートセンシングによる土地被覆判定を活用することによって、更新地の特定をすることから行った。全道や振興局単位での更新率の推移からでは生産者の行動を分析するには対象として大きく、生産者間の相互の関係についても見るができないからである。

リモートセンシングにあたっては、既存の更新地判定方法に加えて、セグメンテーションやフィリングの手法を活用することにより、可能な限りの精度向上に努めた。分析結果は概ね地域のJAが集計した更新率と同じような値をとっているが、2010年のようにやや早い時期以外に雲量の少ない画像が存在しない年次については更新作業が始まっていない土地もあったために、更新地判定としては課題の残る結果となった。

次いで、リモートセンシングによって特定した草地の集落別更新率データと農業センサス農業集落データを組み合わせることによって、どのような要因によって牧草地の更新率が影響を受けているのかを検証した。分析の結果から、既存研究で言われているような酪農経営の大規模化やそれによる労働力の不足は更新率に対して有意な影響をもたらしていないことが明らかとなった。既存研究によって言及されていた中では、有意な影響をもたらしたのは乳用牛当たりの牧草地面積のみであった。

一方で、本稿で用いた SAR モデルによる計測から、牧草の更新に対しては、周辺地域における草地更新との相互影響が大きいということが明らかとなった。本稿で用いたデータと SAR モデルの限界から、相互影響が大きい要因として、雑草の移動といった生物学的な意味での影響が大きいのか、知識の伝播という意味での社会ネットワーク的な意味での影響が大きいのか識別することはできていないが、何らかの方法で更新率を引き上げることが可能であれば、相互の影響を通して、高い更新率を維持していくことが可能となることが示唆される。

本報告の分析結果では、更新率に大きな影響を与えるのは乳牛あたりの牧草面積と周囲の更新状況である。表 2-1-1 で確認したように、別海町においては乳牛あたりの牧草面積は減少傾向にあり、牧草のひっ迫から更新率が上昇する可能性はある。この傾向に関しては、配合飼料や購入粗飼料の価格動向にも大きく影響を受けられると思われるため、今後の価格変動によっても傾向は変化するものと思われる。一方で、周囲の更新率の影響はより重大である。酪農経営の更新行動が周囲の更新状況に影響を受けるということは、一度更新率が下がってしまうと雪だるま式に更新率が下がっていつまでも更新率があるということである。これは、更新に対する経営者の知識や意欲もあるだろうが、当然、雑草の侵入速度の増加も影響しているものと考えられる。JA における聞き取りでは、過去と比べて雑草の侵入速度が上昇していることを耳にしたが、更新率の低下によって雑草の侵入速度が上がれば更新による草地改善の利得は弱くなり、更新意欲を削ぐことにつながっていく。草地の改善は周辺にもスピルオーバーの大きいものであり、地域が一体となって更新率を高めていくことが重要であるといえる。

引用文献

引用文献

- Chambell, J. B. (1996) *Introduction to Remote Sensing*, Talor and Francis, 626pp.
- 船本末雄. (1983) 「これからの酪農成功の秘訣」 北海道酪農協会, 119-170.
- 五味茂太, 星野仏方, 義平大樹, 阿古達木 (2011) 「リモートセンシング技術を用いた牧草の生育状況の診断」『酪農学園大学紀要』 76(3): 87-96
- 牧野司・林拓・佐藤尚親・三浦周・岡元英樹 (2006) 「リモートセンシング技術の草地への適用～市町村単位での草地の抽出および牧草収量の推定～」, 『日本草地学会誌』 52 (別 2): 12-13
- 松中照夫. (1987). 「生産コストからみた草地の生産性と規制要因. 北海道草地研究会報 21 : 30-37
- 美濃伸之, 斎藤元也 (1996a) 「多年次衛星データを利用した草地更新状況の把握」 『写真測量とリモートセンシング』 35(3): 18-25.
- 美濃伸之, 斎藤元也 (1996b) 「衛星データによる草地の経年化に伴う分光反射特性変化の把握」 『写真測量とリモートセンシング』 35(3): 26-33.
- 中野 長三郎 (2003) 「草地更新はなぜ進まないか-背景・現状・今後の対応を考える」 酪農ジャーナル 56(8), 29-31
- 中嶋康博, 村上智明, 佐藤尅 「飼料作コントラクターによる飼料供給サービスの質に関する研究畜産の情報」, 農畜産業振興機構
- 中坪あゆみ, 田中勝千, 三谷歩, 石岡義則, 杉浦俊弘, 皆川秀夫, 嶋田浩 (2013) 「採草地を対象とした航空機リモートセンシングによるエゾノギシギシ (*Rumex obtusifolius* L.) 現存量の判別」『日本草地学会誌』, 59(3), 175-183.
- 牧野司・出口健三郎・林拓・佐藤尚親(2010) 「高分解能マルチスペクトル衛星データを用いたチモシー主体草地への地下茎型イネ科雑草侵入程度の推定」『日本草地学会誌』, 56, pp. 134-135
- 丸山健次 (2010) 「北海道草地の現状と課題」 シンポジウム『地理的情報システムの活用による草地の生産性向上の可能性』 北草研報, 44: 12 -14.
- 村上格 (2014) 「北海道別海町における酪農の生産構造」 *Production Structure of Dairy Farming in Betsukai Town, Hokkaido, Japan* 『地理学論集』, 88(2), pp.23-36
- Rees, G. W. (2012) *Physical principles of remote sensing*, Cambridge University Press, 460pp.
- 須崎純一 (2002) 「リモートセンシング通論」『写真測量とリモートセンシング』 39(4), 31-33.
- 武石文人 (1968) 「根釧パイロット・ファームの現況」『北海道地理』, 40, pp.24-30.
- 竹田芳彦 (2004) 「持続的な草地生産: 北海道における草地生産の現状と草地更新 (< 特集> 最新の持続的な草地管理技術)」 『日本草地学会誌』 50(1): 75-82.