

## 環境保全と食糧生産および農業経営を安定化させるカギは土壤炭素

佐々木章晴\*

[キーワード]: 土壤炭素, 地球温暖化, 水系水質,  
農業生産性, 人材育成

## 1. はじめに

産業革命によって人類が化石燃料を大量に消費するようになってから、大気中の二酸化炭素濃度は増加し、地球温暖化が促進され、気候や水文循環に変化が生じ、食糧生産をはじめとした人間活動に大きな影響が生じることが懸念されている（環境省 2020）。このことへの対策として、大気中の二酸化炭素濃度を抑制することが必要となる（白戸 2016）。

一方近年の農業生産は、単年度の生産量を最大化するために化学肥料を大量に消費している。このことは、 $N_2O$  などの GHG 放出を促進し（環境省 2020）、水系への窒素、リンなどの流出を増加させ、水生生物への影響も予想される（佐々木 2009）。

また、化学肥料などの生産資材を大量に消費する農業経営は、生産コストを上昇させ、農産物価格の低迷もあり、農業経営を不安定化させている（佐々木 2014）。

そこで本報告では、大気中の二酸化炭素濃度抑制、農耕地への化学肥料などの投入量抑制による生産コストの抑制、環境負荷の抑制のためにどのような方向性が考えられ、また生産現場ではどのような実践が行われているかについて報告する。

## 2. 農業生産現場における土壤炭素の認識

農業生産現場では、黒い土が求められる。特に野菜や花き栽培の育苗土では、黒く、手で握って離し

た時に団粒構造が認められる土が好まれる。育苗は生産現場では「苗立て 8 割」と言われ、育苗の成否は収量に大きく影響する。また苗を定植する圃場では、作土の黒色が強い方が好まれる。

このように農業生産現場においては、黒い土⇨腐植（土壤炭素）の高い土は収量が高い、生産性が高い傾向にあるとの認識がある（佐々木 2014）。

## 3. 河川流域の観測による気づき

河川の水質は、河川や沿岸域の水生生物や水産生物に大きな影響を与えることが徐々に明らかになりつつある。一方、流域の土地利用や土地管理を河川水質は反映する（佐々木 2009；佐々木 2017）。

北海道東部根釧地方の草地酪農地帯における河川流域の観測において、酪農場全体の投入窒素（購入肥料・飼料）から搬出窒素（生乳生産）を差し引いた余剰窒素が存在し、投入窒素の増加によって余剰窒素も増加することが明らかとなり、このことが河川水中の硝酸態窒素濃度に影響している可能性が考えられた（佐々木 2017）。

これら河川流域の観測から、投入窒素が地域平均の 1/3 であるが、牧草の TDN 収量が 8 割程度の酪農経営事例（以下、低投入酪農経営事例）が見いだされた。草地土壌を調査したところ、土壤炭素含有率の地域平均（ $n=31$ ）が 8.6% に対して、この事例（ $n=2$ ）では 10.7% であった（表 1）。草地土壌の土壤炭素含有率の違いが、草地生産性に何らかの影響を与えている可能性を考え、土壤炭素の研究を行った（佐々木 2014）。

表 1 土壤全炭素含有率・腐植酸+フルボ酸としての炭素含有率の結果

調査年・調査地	酪農経営・草地管理	土壤全炭素	腐植酸+	調査草地数
		含有率%	フルボ酸 C%	
		平均±標準偏差	平均±標準偏差	
2005 年・中標津町	慣行施肥量(地域の平均的な酪農経営)	8.6±2.9	3.9±2.0	n=31
	低投入酪農経営の事例	10.7±0.3	8.6±2.0	n=2

佐々木 (2014), 「これからの酪農経営と草地管理」より。

#### 4. 見えてきた土壤炭素の実態と役割

2005年に採取した33草地圃場の土壤の腐植酸+フルボ酸の測定を行った。その結果、地域平均(n=31)では3.9%、低投入酪農経営事例では8.6%となった。このことから、土壤全炭素のうち45~80%は腐植酸+フルボ酸であること、土壤炭素含有率の差は腐植酸+フルボ酸含有率の差である可能性が考えられた(表1)(佐々木 2014)。

次に、腐植酸+フルボ酸の由来として、草地に散布される完熟堆肥、草地に還元されるリターの土壤表層への堆積が考えられる。完熟堆肥、リターともに腐植酸+フルボ酸と思われる黒色物質が抽出された。これらが土壤から抽出される腐植酸+フルボ酸と類似の物質かどうかを、可視光の吸収スペクトルを測定し検討した。

その結果、長い波長(赤)よりも短い波長(青)の吸光度が高くなり、この傾向は土壤A層の腐植酸+フルボ酸と、完熟堆肥およびリターの腐植酸+フルボ酸では、大きな差は見られなかった(図1)。これらのことから、土壤の腐植酸+フルボ酸の由来は完熟堆肥とリターである可能性が考えられた。

腐植酸+フルボ酸が土壤化学性に与える影響を検討した。腐植酸+フルボ酸含有量と土壤塩基置換容量には正の相関が見られた。また、腐植酸+フルボ酸含有量と土壤交換性アルミニウム含有量との間には、負の相関が見られた(図2)。一方、交換性アルミニウム含有率と投入窒素1kgあたりの牧草乾物収量には負の相関が見られた(図2)。これらのことから、腐植酸+フルボ酸の増加は塩基置換容量を上昇させることにより土壤の肥料保持力を高める可能性があること、また、作物生産性を抑制す

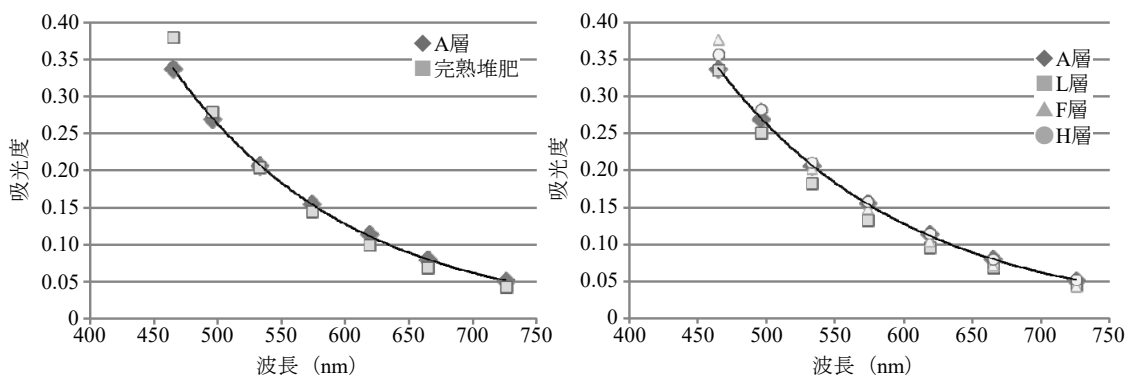


図1 土壤A層・完熟堆肥・リターから抽出された腐植酸+フルボ酸の吸光特性  
佐々木 (2017)「草地と語る」より。

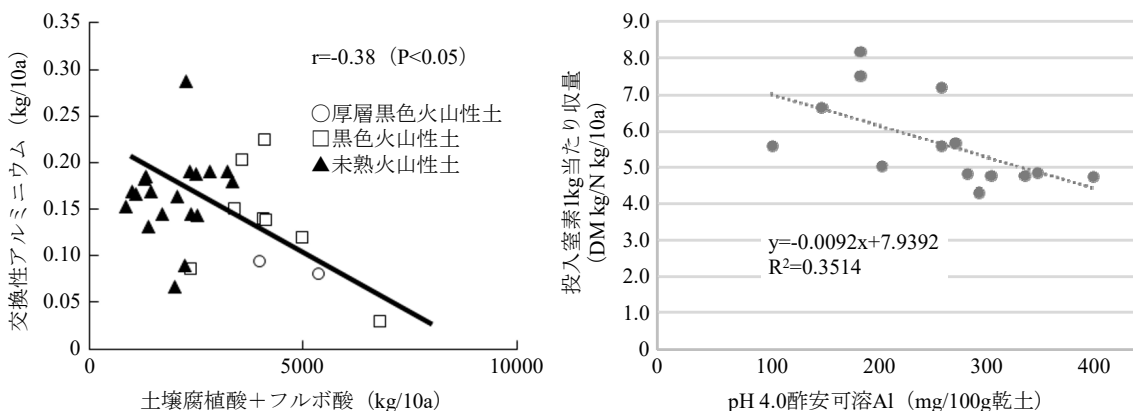


図2 腐植酸+フルボ酸の交換性アルミニウム抑制効果と交換性アルミニウムが投入窒素1kgあたりの収量に与える影響  
佐々木 (2014)「これからの酪農経営と草地管理」より。

ると予想される土壤交換性アルミニウムを抑制する可能性があることから、腐植酸+フルボ酸は作物生産性に影響を与えている可能性が示唆され、このことが低投入型酪農経営事例における低窒素投入における作物生産性維持に関連している可能性が考えられた(図3)。

またこのことは、購入肥料や購入飼料の投入量が

少ないことでもあることから、生産コストを圧縮することが可能になり、農業所得率を高く維持することが可能になると考えられた(図4)(佐々木 2014)。

### 5. 土壤炭素の新たな価値の認識

現在、地球の大気中には炭素(大部分は二酸化炭素)として760Gt存在する。これが地球温暖化の主

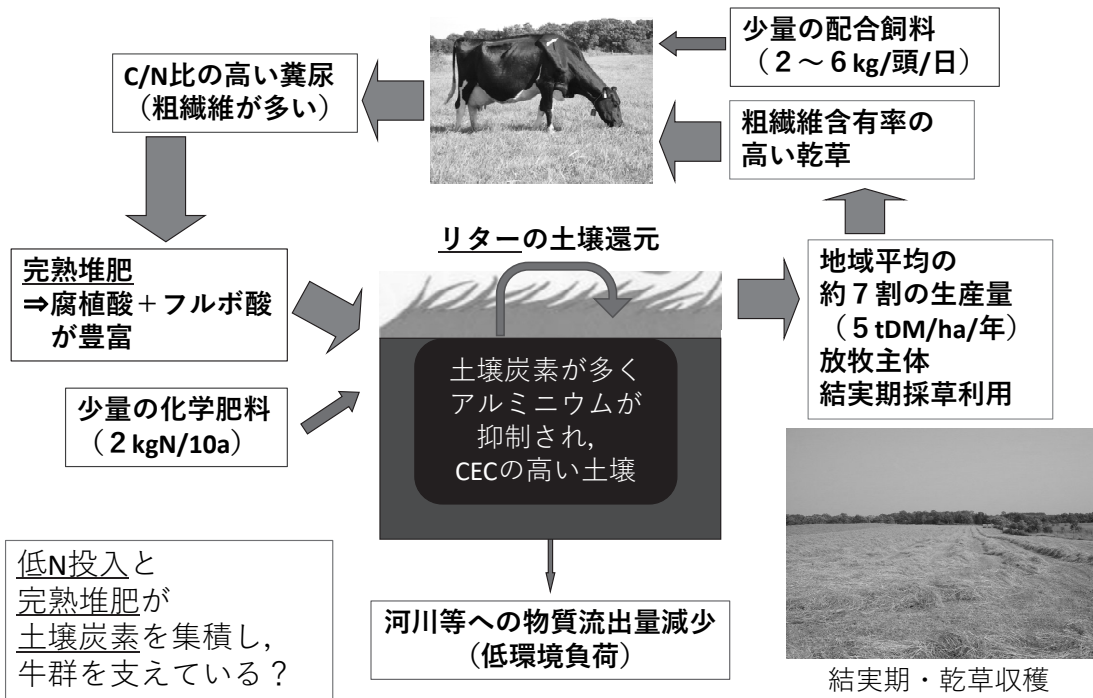


図3 現在までに推定される低投入型酪農経営事例の物質動態

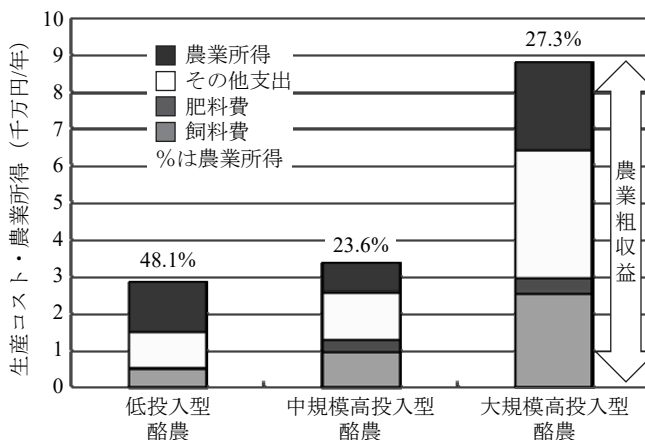


図4 酪農経営形態と経営状況  
佐々木 (2014) 「これからの酪農経営と草地管理」より。

因であるとされている。一方、土壌炭素は地球全体で2000Gt存在すると推定されている(白戸 2016)。

低投入型酪農経営事例では、17年で土壌炭素含有率が10.5%から13.5%へ増加した例もみられる。もしこの事例が地球全体で実現できたならば、地球全体の土壌全炭素含有量は2,000Gtから2,570Gtとなり、産業革命期の二酸化炭素濃度よりも低くなる可能性がある(白戸 2016)。しかし、陸域の40%を占める農耕地・草地において、土壌炭素を変動させる人為的要因については未解明の部分が多い。

そこで、北海道東部の草地酪農地帯において、草地更新を20年以上行っていない低投入型酪農経営事例8例と、草地更新を10年ごとに行い購入肥料・購入飼料を地域内で平均的な量を使用する酪農経営事例6例から、土壌炭素含有率に影響する要因を解析した。

その結果、草地更新後の年数が長く、購入肥料・購入飼料が少ない(≒窒素投入が少ない)と土壌炭素含有率は上昇する傾向が見られた。また、土壌pHが低いと土壌炭素含有率が上昇する傾向が見られた(図5)(佐々木ら 2021)。このことは、低投入型酪農経営事例が土壌炭素蓄積を促進する可能性を示唆していると考えられた。

### 6. 土壌炭素を増加させる可能性

土壌炭素を増加させることによって、地球温暖化の抑制し、施肥量を削減し肥料要素の水系流出抑制による農業生産および水産生産の両立、農業経営の低コスト化が実現できると考えられる(図6)(佐々木 2017)。

しかし、低投入型の農業経営は収量が減少する。そこで、近年利用が拡大しているバイオ炭の土壌添

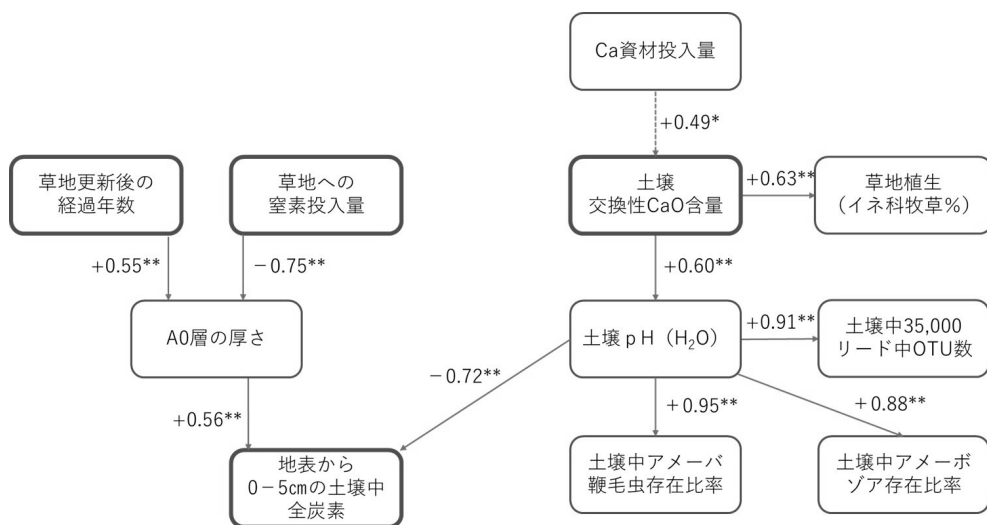


図5 草地の人為的管理と土壌炭素との相関図  
佐々木ら(2021)「北海道東部火山性草地土壌における人為的要因による土壌炭素含有率への影響」より。

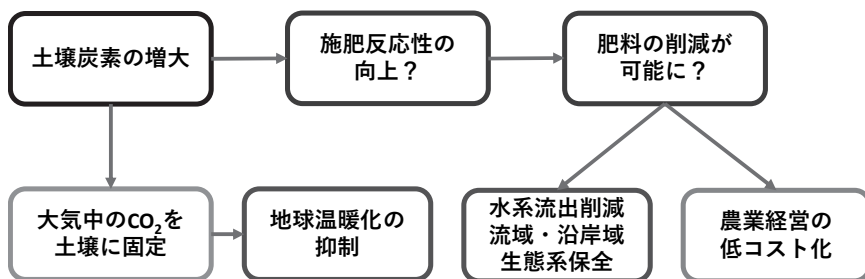


図6 土壌炭素増大による地球環境・農業経営への影響

加による土壤炭素含有量増加を試みた。

バイオ炭の土壤への施用によって、作物体の糖度は減少し、逆に土壤炭素がバイオ炭の施肥量以上に増大する事例が見られ、土壤炭素蓄積には植物根からの糖分放出も大きく関与している可能性が考えられた。また、バイオ炭以外の施用を全く行わない条件でも、収量が増加する事例も見られた(図7)。

これらのことから、地域内の未利用有機質資源(雑木林や竹林など)の炭化とその土壤への施用による土壤炭素含有量の増大は、大きな可能性を秘めていると考えられる。

### 7. 土壤炭素を中心にこれからはすべきこと

日本の国土のほとんどは「河川流域」であり、河川流域の土壤炭素量が河川流域・沿岸域生態系の生産性と地域経済、および災害に対するレジリエンスに大きな影響を与える。

土壤炭素含有量を増加させる具体的行動のためには、河川流域・沿岸域全体におけるステークホルダーの合意形成とその場の形成がまず必要である(図8)(草野 2022)。合意形成のためには、地域住民間の対話が重要になる。基礎研究をもとにした

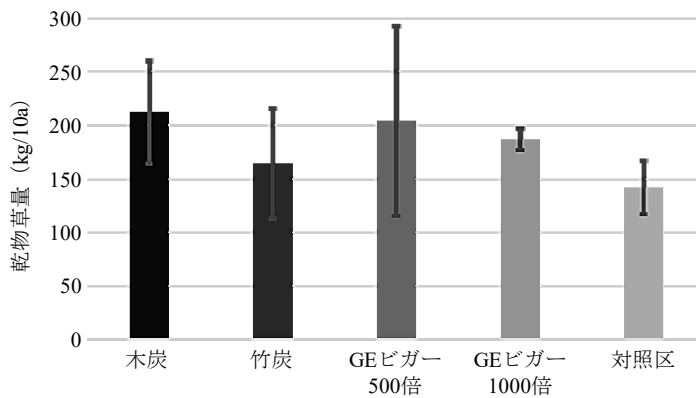


図7 炭資材の土壤添加による乾物草量の変化  
2022年6月, 岩見沢農高。

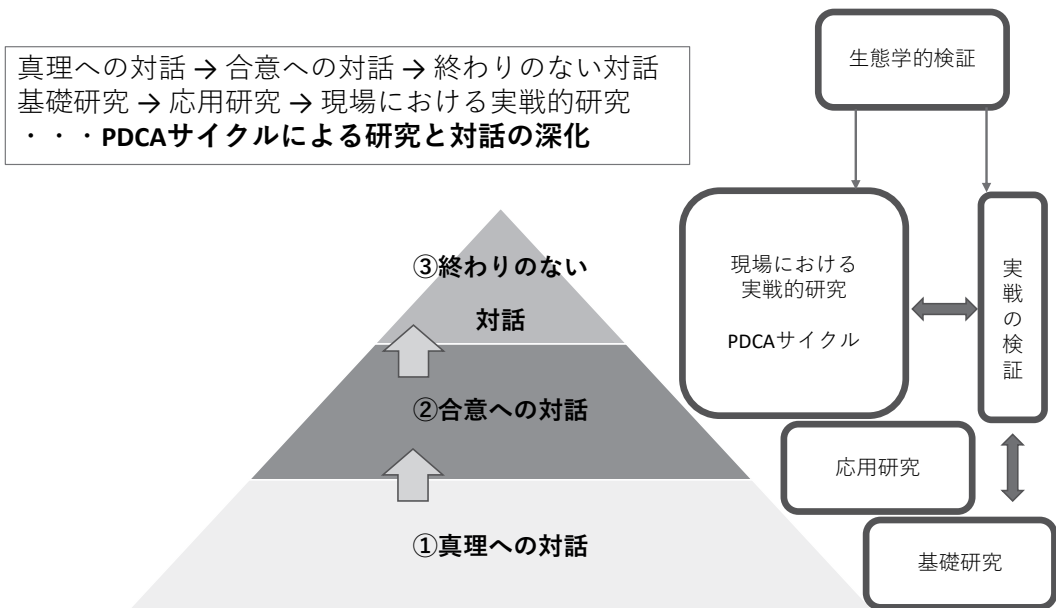


図8 河川流域内における合意形成に必要な3つの対話

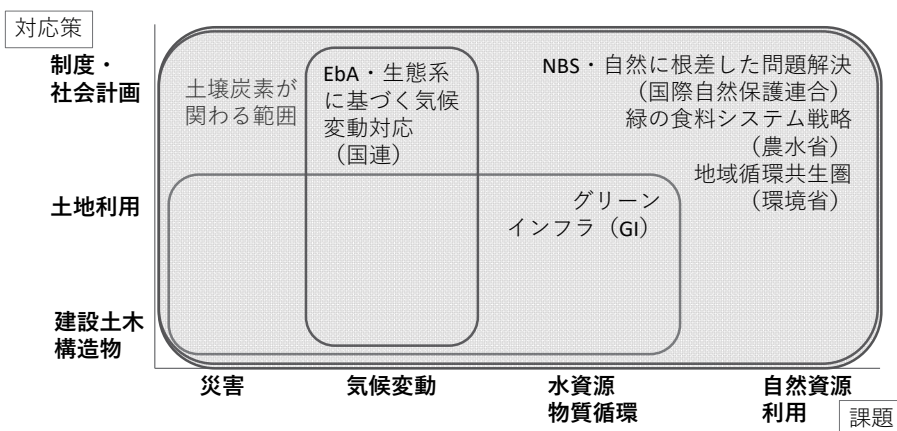


図9 既存の環境保全の枠組みと土壤炭素との関連

真理への対話，応用研究による合意への対話，現地で試行錯誤し改善を繰り返す終わりのない対話，この3つが段階的に求められるようになる．この対話の中で，外部の教育研究機関の研究者はもちろんのこと，地域内部において探究と合意形成を推進していく内部研究者の存在が望ましい．

そして，合意形成による行動を検証する方法として，地域住民が効果を検証できるための技術開発が必要となる．近年高価な観測・分析機器が開発されているが，地域住民自ら効果を検証する観測を実施するためには，安価で取り扱いの容易な観測・分析機器が必要である．一例として，ハンディタイプの水質計測器や，スマートフォンに簡易分光器を取り付けた，反射光スペクトルの測定は可能性があるかもしれない．

そして，合意形成の場の政策化のために，既存の環境保全の枠組みとのすり合わせが必要となる．土壤炭素が関わる範囲は，既存の複数の枠組みに関係する．また，土壤炭素の増大には地域住民の主体的な参加が必要であることから，土壤炭素の政策的な位置づけと，地域特性に合わせた手触り感のある政策展開が必要であると考えられる（図9）．

その一方で，河川流域および沿岸域全体を俯瞰し，総合的な視点を持ちつつも個々の山林・原野・農耕地・河畔林・河畔地それぞれの配置や管理をどのように行っていくかを考え，行動する人材の育成が望まれる．現状では，林業関係者，農業関係者，河川管理者，漁業関係者，行政関係者，土木技術者が担い手として考えられるが（草野 2022），それぞれの産

業のおよび管轄範囲の枠内で行動せざるを得ない．

そこで既存の学問範囲にこだわらない，河川流域・沿岸域全体をすべて教育研究の対象として，上記の地域人材のリカレント教育を実施できる専門の教育研究機関の設立が望まれる．これは日本のどこかに1つ設置するのではなく，全国の主要な河川流域に1つはあることが望ましい．日本国内のどこかに本校を設置し，全国各地に分校を設置し，ネットワーク型の教育研究機関にしていくのも有効であると考えられる．これらの活動により，土壤炭素を軸として，大気環境・河川流域環境・沿岸域環境の保全と賢明な利用が実現し，地球環境課題の解決への大きな一助になると考えられる．

## 参考文献

- 環境省 (2020) 気候変動影響評価報告書 (総説)．環境省：1-95.
- 白戸康人 (2016) 家畜糞堆肥等の有機物施用による土壤の炭素貯留～地方の維持増進と地球温暖化緩和の両立を目指して～．畜産環境情報，64，11-22.
- 佐々木章晴 (2009) 根釧地方の酪農開発が自然環境に与える影響．日本草地学会誌 55(3)：252-263.
- 佐々木章晴 (2014) これからの酪農経営と草地管理：土一草一牛の健康な循環でミリ・ムダをなくす．農山漁村文化協会 (ISBN：4540131516)．
- 佐々木章晴 (2017) 草地と語る マイペース酪農ことはじめ．寿郎社，札幌，pp.1-221 (ISBN：9784902269970)．
- 佐々木章晴 (2017) 北海道根釧地方における土地利用の変化と酪農生産システムが河川流域の物質動態と野生生物および水産業に与える影響．横浜国立大学環境情報学府 博士論文，横浜，pp.1-141.
- 佐々木章晴・Zhihao Tu・湯本勲 (2021) 北海道東部火山性草地土壌における人為的要因による土壤炭素含有率への影響．日本土壤肥科学雑誌 92(2)：182-191.
- 草野謙次郎 (2022) ニシベツ伝記．幻冬舎，東京．