

伝統的農法における  
落ち葉堆肥長期連用畑地土壌の特徴

2023年1月

渋澤 孝雄

伝統的農法における  
落ち葉堆肥長期連用畑地土壌の特徴

筑波大学大学院  
生命環境科学研究科  
生物圏資源科学専攻  
博士（農学）学位論文

渋澤 孝雄

## 目次

### 第1章 序論

1-1	武蔵野台地における新田開発	1
1-2	武蔵野台地における落ち葉堆肥を活用した農業	3
1-3	持続可能な農業	4
1-4	武蔵野の里地里山	7
1-5	土壌肥沃性維持	8
1-6	土壌微細形態学の観点	14
1-7	本研究の目的と意義	16

### 第2章 三富新田の自然環境，歴史地理および農業

2-1	はじめに	17
2-2	三富新田地域の自然環境	17
2-3	三富新田地域における歴史地理	19
2-4	三富新田地域における落ち葉堆肥を活用した農業	22

### 第3章 三富新田地域土壌の断面形態，理化学性および生物性

3-1	三富新田地域土壌の調査及び断面形態	
3-1-1	土壌調査地点	31
3-1-2	土壌断面調査方法および試料採取	32
3-1-3	土壌断面形態	32
3-1-4	まとめ	39
3-2	三富新田地域土壌の理化学性	

3-2-1	分析方法	41
3-2-2	結果および考察	
3-2-2-1	落ち葉堆肥連用畑地土壌と平地林下土壌の物理性	41
3-2-2-2	落ち葉堆肥連用畑地土壌と平地林下土壌の化学性	42
3-2-2-3	休閒地土壌と落ち葉堆肥連用畑地土壌との比較	44
3-3	団粒分析（耐水性団粒）	
3-3-1	分析方法	46
3-3-2	結果および考察	47
3-4	三富新田地域土壌の生物性	
3-4-1	土壌酵素（ $\beta$ グルコシダーゼ，プロテアーゼ）	
3-4-1-1	分析方法	49
3-4-1-2	結果および考察	50
3-4-2	土壌微生物多様性・活性値	
3-4-2-1	分析方法	51
3-4-2-2	結果および考察	52
3-5	まとめ	54
第4章 三富新田地域土壌の微細形態学的特徴		
4-1	はじめに	71
4-2	分析方法	
4-2-1	土壌薄片の作成および記載	71
4-2-2	土壌薄片の画像解析およびフラクタル次元	72
4-2-3	電子線プローブマイクロアナライザー（EPMA）による分析	73
4-3	結果および考察	

4-3-1	落ち葉堆肥連用畑地土壌と平地林土壌の微細形態学的特徴	74
4-3-2	フラクタル次元	77
4-3-3	暗褐色物質被覆粒子 (DBC peds) の EPMA 分析	77
4-3-4	特異な土壌構造に関する土壌微細形態学的視点	79
4-4	まとめ	81
第5章 総合考察		
5-1	はじめに	99
5-2	平地林由来の落ち葉堆肥連用農法下における畑地土壌の形成および特徴	100
5-3	環境保全型農業としての伝統的な平地林由来の落ち葉堆肥長期連用農法	105
5-4	サステイナブルな里地里山ー三富新田	107
謝辞		116
引用文献		118

## 表目次

表 2-1	元禄 9 年 (1696 年) 三富新田検地帳による畑面積 (菊地 1986)	27
表 2-2	落ち葉および落葉堆肥の成分含有量 (三富新田)	30
表 2-3	落ち葉および落葉堆肥の成分含有量	30
表 3-1	調査地点の概要	57
表 3-2	落ち葉堆肥連用土壌 (三富 1) および平地林土壌 (三富 2) の土壌物理性	64
表 3-3	落ち葉堆肥連用土壌 (三富 1) および平地林土壌 (三富 2) の土壌化学性	65
表 3-4	休閒地土壌 (三富 3) および落ち葉堆肥連用土壌 (三富 4) の土壌化学性	66
表 3-5	休閒地土壌 (三富 3) および落ち葉堆肥連用土壌 (三富 4) の土壌化学性	67
表 3-6	耐水性団粒中のマクロ・ミクロ団粒割合	68
表 3-7	土壌酵素活性	69
表 3-8	土壌微生物多様性・活性値の目安(株式会社 DGC テクノロジー社提供)	69
表 3-9	三富新田における土壌微生物多様性・活性値	69
表 4-1	落ち葉堆肥連用畑地および平地林土壌の微細形態	83
表 4-2	落ち葉堆肥連用畑地および平地林土壌における土壌微細構造の フラクタル次元	94
表 5-1	所沢における平年値 (年・月ごとの値) 主な要素	110
表 5-2	風食形態別 (Wagner 2013)耐水性団粒割合 (三富 1)	111
表 5-3	風食形態別 (Wagner 2013)耐水性団粒割合 (三富 2)	111

## 図目次

図 2-1	三富新田の位置	25
図 2-2	武蔵野台地および新田集落の分布	26
図 2-3	三富新田における短冊型地割の模式図	27

図 2-4	三富新田上富地区の航空写真	28
図 2-3	落ち葉の利用	29
図 3-1	土壌調査地点	57
図 3-2	土壌調査地点の画像 (三富 1)	58
図 3-3	土壌調査地点の画像 (三富 1)	58
図 3-4	土壌調査地点の画像 (三富 2)	59
図 3-5	土壌調査断面 (三富 2)	59
図 3-6	土壌調査地点の画像 (三富 3)	60
図 3-7	土壌調査断面 (三富 3)	60
図 3-8	土壌調査地点の画像 (三富 4)	61
図 3-9	土壌調査断面 (三富 4)	61
図 3-10	土壌調査地点の画像 (三富 5)	62
図 3-11	土壌調査断面 (三富 5)	62
図 3-12	土壌調査地点の画像 (三富 6)	63
図 3-13	土壌調査断面 (三富 6)	63
図 3-14	耐水性団粒の粒径物組成	68
図 3-15	2020 年 7 月～9 月の所沢における気温	70
図 3-16	2020 年 7 月～9 月の所沢における降水量	70
図 4-1	落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 1 ; 0-5 cm) の微細形態写真	84
図 4-2	暗褐色物質に被覆された粒子 (DBC peds) (三富 1 ; 0-5 cm)	84
図 4-3	中度に発達したペッド内微細構造を持つ軟粒状ペッドおよび 屈折率の大きな粒子片 (三富 1 ; 0-5 cm)	84
図 4-4	厚い暗褐色物質に被覆されつつある粒子および軟粒状ペッド (三富 1 ; 0-5 cm)	85

図 4-5	暗褐色物質に被覆された黒色の炭化片(?) (三富 1 ; 0-5 cm)	85
図 4-6	植物残渣 (三富 1 ; 0-5 cm)	85
図 4-7	落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 1 ; 30-35 cm) の微細形態写真	86
図 4-8	薄片上部 (三富 1 ; 30-35 cm)	86
図 4-9	薄片下部 (三富 1 ; 30-35 cm)	86
図 4-10	落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 1 ; 45-50 cm) の微細形態写真	87
図 4-11	接合もしくは部分的に接合した亜角塊状構造 (三富 1 ; 45-50 cm)	87
図 4-12	ペッド内微細構造を持つ亜角塊状構造	87
図 4-13	落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 2 ; 0-5 cm) の微細形態写真	88
図 4-14	軟粒状および小粒状ペッドならびに植物残渣 (三富 2 ; 0-5 cm)	88
図 4-15	亜角塊状ペッド (三富 2 ; 0-5 cm)	88
図 4-16	落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 2 ; 30-35 cm) の微細形態写真	89
図 4-17	小粒状および軟粒状ペッドならびに屈折率の大きな粒子片 (三富 2 ; 30-35 cm)	89
図 4-18	中度に発達した軟粒状ペッド (三富 2 ; 30-35 cm)	89
図 4-19	落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 2 ; 45-50 cm) の微細形態写真	90
図 4-20	面状孔隙により分離された亜角塊状構造 (三富 2 ; 45-50 cm)	90
図 4-21	根跡に形成された構造 (三富 2 ; 45-50 cm)	90
図 4-22	休閑地土壌 (三富 3 ; 0-5 cm) の微細形態写真	91
図 4-23	三富 1 よりも淡い暗褐色物質に被覆された粒子 (DBC peds) ならびに 小粒状および軟粒状ペッド (三富 3 ; 0-5 cm)	91
図 4-24	中々に発達したペッド内微細構造を持つ軟粒状ペッドおよび 屈折率の大きな粒子片 (三富 3 ; 0-5 cm)	91
図 4-25	落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 4 ; 0-5 cm) の微細形態写真	92

図 4-26	暗褐色物質に被覆された粒子(DBC peds) (三富 4 ; 0-5 cm)	92
図 4-27	中度に発達したペッド内微細構造を持つ軟粒状ペッド, 小粒状ペッド および屈折率の大きな粒子片 (三富 4 ; 0-5 cm)	92
図 4-28	三富 1 および三富 2 (0-5 cm) の格子の目の長さ $\varepsilon$ とその長さを 単位として測定した孔隙空間を含む正方形の個数 $N$ との関係	93
図 4-29	三富 1 および三富 2 (30-35 cm) の格子の目の長さ $\varepsilon$ とその長さを 単位として測定した孔隙空間を含む正方形の個数 $N$ との関係	93
図 4-30	三富 1 および三富 2 (45-50 cm) の格子の目の長さ $\varepsilon$ とその長さを 単位として測定した孔隙空間を含む正方形の個数 $N$ との関係	93
図 4-31	EPMA 分析粒子	95
図 4-32	EPMA 分析粒子の SEM 画像	95
図 4-33	DBC peds 外側で, 被覆している暗褐色部分の分析チャート	96
図 4-34	DBC peds 内側で, 被覆されている褐色部分の分析チャート	97
図 4-35	DBC peds の元素マッピング	98
図 5-1	風による土壌侵食	109
図 5-2	三富新田最寄りの気象観測地点 (所沢) における日最大風速 $10 \text{ ms}^{-1}$ 以上 の日数 (2006~2015 年)	110
図 5-3	開発時の上富村のようす	112
図 5-4	三富新田畑地における畦畔茶木と落ち葉堆肥施用による風食抑制	113
図 5-5	三富新田開拓以前, ならびに開拓後の平地林土壌 (三富 2) および 畑地土壌 (三富 1)	114
図 5-6	土壌は農業を基盤とした地域 (農業文化) システムの基盤的資源	115

## 第1章 序論

### 1-1 武蔵野台地における新田開発

武蔵野台地は関東平野の南西部に位置する扇状地状の洪積台地である。縄文時代以来、武蔵野台地に谷を刻む小河川に沿って農耕が始まり、村が築かれ、谷津田の開発とその周辺の畑作が行われた。律令制下には官営牧場というべき「牧」が台地上に設けられ、「牧」の維持・管理にも火入れが行われた結果、台地上には森林が成立せず、原野が維持されることになった（加藤，2002）。

古くは「万葉集」「伊勢物語」「更級日記」にも武蔵野の名が見え、「続古今和歌集」には『武蔵野は月の入るべき峯もなし尾花が末にかかる白雲』（源通方）と詠まれたように、見渡すかぎりの草叢が広がっていたのが当時の武蔵野の風景であったと思われる。中世に入っても、水利条件で恵まれない台地面における畑の開拓に及ぶことは少なかったとされる（菊地，1986）。江戸時代初期には、武蔵野台地の原野は台地に刻まれた小河川流域の村々の肥料の給源として入会秣場となっていた（加藤，2002）が、江戸幕府の新田開発による年貢増徴に呼応するように積極的な新田開発が行われたのが武蔵野台地であった（菊地，1986）。『新編武蔵風土記稿』によれば、『武蔵野新田は、多磨・入間・新座・高麗の四郡に跨りて、昔は茫々たる曠野の地なりしに、享保年間新墾の事を命ぜられしかば、遠近となくこれを望める農民等、公に願ひして墾開を促せしに、日をつみ年を累ねその功遂に成て、新田八二村を開けり、その区別は多磨郡に属するもの四十村、新座郡に属するもの四村、入間郡に属するもの十九村、高麗郡に属するもの十九村なり。（後略）』とされ、常畑が出現した様子が書かれている。このうちの一つが三富新田で、元禄7年（1694年）に川越藩が計画し開発が始まり、元禄9年（1696年）に検地が行われた（菊地，1986）。

これら開発された常畑の畑作新田では、大麦・小麦・陸稲・粟・稗等の穀物作が自給目的に開始されたが、18世紀後半になると江戸を中心とした地域経済の中に取り込まれていきそれらの商品化も進展していった。これらの背景として、後述する落葉広葉樹を中心とした平地林の安定した管理と、その落ち葉を利用した肥料づくりに熟達したという農業技術の進展も大きい。平地林からの林木そのものを薪として、また炭に焼いて江戸に出荷されることを通じ、造林に関する技術も確立されていった。このように江戸時代に展開した台地上の常畑の拡大が、関東平野に平地林を成立させた要因であった（加藤，2002）。

「武蔵野の集落」を著した矢嶋（1954）によれば、武蔵野台地は、我が国において最も模式的な乏水性の台地として知られ、また新田集落の分布地域としても典型的なところとされている。矢嶋は、武蔵野台地の新田集落の開拓過程と飲料水問題について論じており、乏水性の洪積台地上の集落立地に際し、水の採取難が集落立地上、著しい制約的な要因であることを示した。「三富開拓誌」（三富史蹟保存会，1929）にも、開拓当時、水の乏しいことに苦しみ、茅を刈って日陰に干し、これをもって手足を拭いて入浴に代えた『武蔵野の茅湯』の言い伝えが記されている。

冬から春にかけて武蔵野に吹く強風に農民が苦勞した様子が、『草刈りなどに行くにも杭を打立てそれに籠を結び附置されは、風に吹飛され一里も二里も行事にて、至て風の強き時は其身も吹倒されて起る事もならず、ころりころりと五丁も十町吹ころはされしよし。』と「四神地名録」に著わされている旨が指摘されている（伊藤，2002）。こうした冬から春先にかけて、軽しような土粒子を巻き上げ、空を赤茶色く覆う地元で言う「赤ッ風」の激しさは、「風の吹く日には、神棚にごぼうの種が蒔ける」との言い習わしが地元にあるとおりで、今でも変わることがない。

武蔵野台地上に分布する土壌の多くは、富士山および浅間山から放出された火山灰を母材とする黒色ないし褐色の火山灰土（関東ローム研究グループ，1965）であるが、

優れた物理性を持つものの、リン酸を特異吸着する化学性をもつため、リン酸不足が作物生産の重大な制限因子となり、肥料に乏しい時代には、生産力の低い土壌とされてきた（庄子，1984）。「新編武蔵風土記稿」によれば、武蔵野は『土性は粗薄の野土にして糞培の力を仮らざれば五穀生殖せず』の地とされている。

武蔵野が新田開発されてからは、＜水との闘い＞＜風との闘い＞＜土との闘い＞があった（伊東藏衛氏，私信）。

## 1-2 武蔵野台地における落ち葉堆肥を活用した農業

新田開発が進められる以前の武蔵野台地のかなりの部分は、焼畑や入会秣場になっており、周辺の農民は薪、肥料・飼料に用いる柴草、屋根葺材料のカヤ、食料としての野草などを採取していたが、18世紀初頭の広範な新田開発により、新田集落では従来の入会秣場に代わり、農家各戸それぞれが一定面積の平地林を育成するようになった（矢嶋，1954）。こうして、農民は毎年、林床を刈り払い、落ち葉を掻き集め、地力維持のための堆肥を作る材料等として用いるようになった。また、燃料用などに平地林を15～25年周期で伐木して薪炭材を採取し、その後は萌芽更新にまかせて、コナラ・クヌギ林を再生してきた。こうした新田開発期以降に農民によって維持・活用されてきた平地林の多くは、明治時代になっても残存していたことが、犬井（1982）により示されている。犬井（1982）は、1880年代、1940年代、および1970年代の武蔵野台地における平地林の分布を分析し、高度経済成長期には武蔵野台地南部の平地林はほとんど消滅したことを示した。

こうした中であっても、武蔵野台地北部で、新田開発された当時の地割、農民により育成されてきた平地林、そして平地林由来の落ち葉堆肥を活用した農業が比較的よく維持されているのが、埼玉県三芳町および所沢市に広がる三富新田である。三富新田地域で展開されている落ち葉堆肥を活用した農業は、『火山灰土に厚く覆われ痩せた

土地に、江戸時代から木々を植えて平地林を育て、落ち葉を集めて堆肥として畑に入れ、土壌改良を行うことで安定的な生産を実現し、その結果として景観や生物多様性を育むシステムが、今なお継承されている』として、平成 29 年 3 月に農林水産省より「武蔵野の落ち葉堆肥農法」として日本農業遺産に認定された（農林水産省，2022）。

### 1-3 持続可能な農業

三芳町（2014）によれば、三富新田では持続可能な循環型農法が 300 年以上続いており、南米チリの砂漠化防止策として三富新田の土地利用を手本に国際協力機構（JICA）が技術指導するなど世界的に注目されている、とされる。

この持続可能性（sustainability）という言葉について総括的に指摘したのは、環境と開発に関する世界委員会（ブルントラント委員会）の最終報告書「Our Common Future」（Brundtland, 1987）である。この中で、「Sustainable Development（持続可能な開発）」という概念が提示され、人間活動のあらゆる面において、世界の人々が協力の輪を広げ、それを真剣に追及することが求められている。1992 年には、ブラジルのリオ・デ・ジャネイロで「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」が開催され、農業を含めた持続可能な開発が重要課題となった（UN, 1992）。その後、持続可能な農業は世界各国の多くの研究者や組織によって定義、研究されたが、持続可能な農業の共通する点として、持続可能な農業は、環境、経済、社会の三つの側面が関わることが挙げられた（Lichtfouse et al., 2009）。持続可能な農業の必要性が取り上げられた理由として、先進国における化学肥料・農薬等による環境汚染、灌漑農業による塩類集積等が、途上国では過耕作・過放牧による生産力の低下、砂漠化の進行、焼畑農業の短縮化による生産力低下等が挙げられるが、共通していることは資源としての土壌の有限性である。

1992年にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された「環境と開発に関する国連会議」を受けて、農林水産省は「新しい食料・農業・農村政策の方向（新政策）」（1992年発表）の中で、グリーン・ツーリズムの振興等と併せて「環境保全に資する農業」として、環境負荷の軽減に配慮した農法の推進を農業政策の一つの柱として打ち出した（農林水産省，2016；2020）。『環境保全型農業推進の基本的考え方』の中で「環境保全型農業」を『農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和に留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料，農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業』と定義した。環境保全型農業は次のような目標を追求する農業生産技術体系を目指している（藤原ら，2010）。（1）現在の生産水準を低下させることなく，持続可能な農業を進めるために，農地の持つ潜在的生産力や自然的特性に適合させるような作付体系を創出する。（2）環境や生産者・消費者の健康を損なうような，危険性の高い生産資材の使用を減らす。（3）農地管理の改善ならびに土壌，水，エネルギー，生物などの資源の保全を重視した，低投入で効率的な生産を目指す。（4）空中窒素の固定や，害虫と捕食者の関係にみられるような自然のプロセスを農業生産の過程にできるだけ取り入れる。（5）植物や動物の種が持っている生物的・遺伝的な潜在能力を積極的に農業生産に取り入れる。現在でも農林水産省は、『食料農業農村基本法においても、国全体として適切な農業生産活動を通じて国土環境保全に資するという観点から、環境保全型農業の確立を目指して』いるとしている（農林水産省，2022）。

これまで日本国内のみならず開発途上国においても，環境に配慮した持続的な農業開発との文脈で，土壌肥沃度が低く土壌養分の流出が進んでいるアフリカの小規模農業等において「持続的な農業集約化（Sustainable Agricultural Intensification: SAI）」の取り組みが行われてきた（例えば，Haggar et al., 2021）。また，最小限の土壌攪乱（例えば不耕起）、恒久的な土壌被覆の維持、および植物種の多様化を促進する農業システムと定義される「保全農業（Conservation Agriculture: CA）」（FAO，

2022a), 品種・肥料等科学的知見と農家の知見を組み合わせた総合的な農地管理手法である「総合的土壌肥沃度管理 (Integrated Soil Fertility Management: ISFM)」(例えば, Nezomba et al., 2018), 気候変動への適応策を中心とした「気候変動対応型農業 (Climate Smart Agriculture)」(例えば, NARO, 2019)等の取り組みが, FAO および国際農業研究機関等により提唱され, 実証的な研究や普及が行われてきた。

2002年に世界銀行と国連食糧農業機関(FAO)によって、飢餓と貧困を削減し、農村の生活を改善し、環境的、社会的、経済的に持続可能な開発に取り組むための農業の知識、科学、技術 (Agricultural Knowledge, Science and Technology: AKST) の可能性を分析するためのグローバルな協議プロセスとして IAASTD(The International Assessment of Agricultural Knowledge, Science, and Technology for Development) が開始された。この報告書が「岐路に立つ農業—グローバルレポート」(IAASTD, 2009)で、同報告書を転機として、「アグロエコロジー (Agro-ecology)」の考え方が広がりを見せている。アグロエコロジーは、生態学のおよび社会的概念と原則を、持続可能な農業とフードシステムの設計と管理に同時に適用する包括的で統合されたアプローチ (FAO, 2022b) とされ、その考えは、2020年に欧州委員会が発表した「Farm to Fork Strategy」(EU, 2022)でも反映されている。

土壌有機物を増やす慣行を奨励すること等を通じ、生物多様性の保全と土壌の健康を維持することを可能にするとされる「環境再生型農業 (Regenerative Agriculture: RA)」への関心が、ここ数年で復活しているとされる(Giller et al., 2021)。Tokyo International Conference on African Development (TICAD: アフリカ開発会議)は、1993年以来、日本政府が主導し、国連、国連開発計画 (United Nations Development Programme (UNDP))、世界銀行及びアフリカ連合委員会 (African Union Commission (AUC)) と共同で開催しているアフリカの開発をテーマとする国際会議である。2022年8月に、第8回アフリカ開発会議 (TICAD8) が実施されたが、TICAD8 公式サイドイベ

ントの一つとして、「健全な土壌とアフリカの食料安全保障 ―環境再生型農業の可能性―」があり、RA の取り組みと普及アプローチについて議論された（国際農林水産業研究センター，2022）。

アグロエコロジーおよび RA への関心の高まりに表されるとおり，持続可能な農業・農村に関しては，農業・農村が内在する諸側面を総合的な価値として捉える観点が重要性を増している。

#### 1-4 武蔵野の里地里山

関東平野の平地の農村では，二次林（ヤマ），農地（ノラ），集落（ムラ）と続く典型的な土地利用配列がみられる（守山，1997）。ここでヤマは，いわゆる山ではなく，住民が二次林の意味で使用しており，「里山」とほぼ同じとみなすことができる。そして，里山，農地，集落を含めた全体を「里地」と称する（武内ら，2001）。

武蔵野台地，常総台地，那須野原台地等の台地面が広範な分布がみられる関東平野では，里山を持つ里地が広がっており，三富新田はこうした里地の典型とされている（武内ら，2001）。関東平野の二次林（ヤマ）の多くは，農民によって育成管理されてきた人工林（平地林）で，冬には落ち葉を採取し，堆肥を作り農業生産を行ってきた。また，平地林からは燃料としての薪やそだ等を得ていた。農家からのヒアリング（2017年5月4日実施）によれば，サツマイモ畑1 haの維持には50 aの平地林が必要とのことであり，平地林の存在は生活上重要であったのみならず，営農上欠かすことができない極めて重要な位置づけを持っていた。

江戸時代に開発された武蔵野新田は多数あったが，その多くは戦後，市街地に取り込まれ，新田集落としての基本的な形態を残していないところがほとんどである。歴史地理学の村落研究対象地となった小川新田（小平市），砂川新田（立川市）等はほとんど宅地化されてしまっているが，三富新田は，現在でも当時の様子が比較的よく保

全されており、歴史的にも、都市近郊農業地としても、また武蔵野の景観保全の観点でも重要な位置を占めると考えられる。実際に三富新田は、「埼玉県指定旧跡」および「ふるさとの緑の景観地」に指定（埼玉県，2022a）されており、また、公益財団法人森林文化協会により「にほんの里 100 選」（森林文化協会，2022）にも選定されている等、歴史的にも、景観および緑地環境の観点からも重要性が認められている。

さらに三富新田は、環境省より「重要里地里山」に指定されている（環境省，2022）。「重要里地里山」は、①多様で優れた二次的自然環境を有すること、②里地里山に特有で多様な野生動植物が生息・生育すること、③生態系ネットワークの形成に寄与すること、の3点から、里地里山の生物多様性の状況を総合的に評価し決定するとされている。三富新田の選定理由は、「江戸時代の開拓地割跡がそのまま残され、屋敷地、畑地、ヤマと呼ばれる平地林（雑木林）の順に細長く区画された農村集落が形成されている。平地林の落ち葉を活用した循環型畑作農業が継承されており、都市近郊に位置しながら、夏にはカブトムシも多く見られる。また、豊かな里地里山生態系のシンボルであるオオタカの生息も確認されている。」と記載され（環境省，2022）、生物多様性保全の観点から重要な里地里山に指定されている。

土壌は、食物やその他のバイオマスの生産に不可欠であり、人類の物理的および化学的環境として機能する（Bünemann et al., 2018）ことから、里地里山の総合的な理解に土壌の観点は欠かせないと考えられる。

### 1-5 土壌肥沃性維持

これまで、調査対象地が存在する武蔵野という地域の歴史的および立地的側面を概観した。次いで、1696年に入会秣場が開発されて生じた畑地と平地林、そして平地林由来の落ち葉堆肥を活用した農業が300年にわたり展開されている三富新田の土壌の理解に欠かせない土壌肥沃性に関する観点について概観する。

土を活用した農業および歴史に関する著書としては、主にメソポタミアやヨーロッパに関する論述からなる「土と文明」(カーター・デール, 1995)がある。

岡島(1976)は、東洋における土壌観について、20世紀初頭に東洋における農業実態視察のため、中国、韓国、日本を旅したキングの報告から、『植物の養分になると思われるものはすべてこれを土壌に与えることが東洋における農業の鉄則になっており(中略)肥料になるものとしては人間や家畜の糞尿、作物残渣、野草であり、あらゆる種類の灰も準備されていた』と紹介した。また、岡島(1976)は、『有機物の施与について牧畜業の盛んな西洋の厩肥と、東洋の堆肥を比較して論じていることに注目し、東洋の場合は、肥料の成分の量・質が著しく異なるものすべてを一緒に積み上げ、その堆積中に生じる各異物の分解によって品質が均一な肥料、すなわち長年の経験で一定基準の堆肥という肥料に作り替えて土壌に施用していた』ことをキングが高く評価した点について言及し、畜産を伴わない東洋における土地生産力維持は、現在も基礎的な土壌肥沃度観として日本に存在しているとした。

我が国の場合は、どうであっただろうか。日本では、『近世の春は山火事の季節であった。「野火」「野焼き」などと呼ばれた現象が全国いたるところで生じ、しばしばこの火が林地へ燃え移って被害が生じていた。各藩では盛んに法令を発して注意を促し、延焼防止策を命じたが、山林火災は一向に止む気配はなかった』とされる(水本, 2003)。水本(2003)によれば、弘前藩農政担当奉行からの報告書を次のように紹介している。『…年々枯草が重なっては青草の生育が悪くなり、田畑の肥やし・馬草(まぐさ)を刈り取るに不都合なので、野火付けはいずれの国々でも行っていることである。とくに当地は草・小柴よりほかには田畑の肥やしをしないので、だんだん草の生育が悪くなるとは百姓どもの肥草刈りが不都合となり、肥やしが不足すると、田畑の地味低下し作毛の障りになると考えられる。そこで(領主所有の)御立山・御立林などの近所を、天気よき時分に、庄屋どもに申し付けて、あらかじめ細毛焼き(注:防火

のために焚く迎え火) と申すことを行い、野火になっても御立山・御立林へ類焼しないようにして置き、もし野火が付いたならば近所の村々が早速駆け付け消火するように申し付けてはいかがかと存ずる.』これは、藩役人は、領主用山林への類焼を防ぐ手立を講じつつ、野火、野焼きは農民たちにとって田畑の肥やし、稗(まぐさ)、屋根葺きの萱取得のために不可欠な作業であると判断し、実施させようとの提案であった。

古島(1974)によれば、『近世を通じてわが国農業全般の継続を可能ならしめたのは(中略)金肥(注:代金を払って購入する肥料の総称.干鰯,油糟等.)ではなかった。「清良記」に現れたわが国最古の農学的知識の示すところは、山野の草木葉の利用が中心であり(中略)草木葉の肥料としての適否の判定法が肥料論の中心をなしている.』とした。

近世農書の代表とされる宮崎安貞著「農業全書」(1697(元禄十)年)において『草肥とは、山野の若い芝や草(ほどもまたは刈敷)を肥料にしたものである。これを牛馬に敷かせたり、積み重ねて腐らせたり、またはそのまま田畑に多く施すと、とりわけ効果が大きい。草肥を入れた田畑の土は、柔らかくさらさらになって、いつまでも肥えているものである。草肥は芝や草の陽気が盛んな時に刈って作ったものだから、その陽気が五穀をはじめいろいろな作物の陽気を助け、作物がよく生育するのも道理があることなのである.』とされた(山田,1978)。柴や草を積み重ねて腐らせた堆肥、それらを厩舎に敷いて糞尿と混合した厩肥、そのまま田畑に施す刈敷を主要な肥料とした当時の農業は、膨大な草や芝を必要とし、そうした生業のために草山、柴山が不可欠であった。こうした古い時代からの草肥農業は近世に至り満面開花の時期を迎えていた(水本,2003)。

近世後期になると、高価であるが速効性を特色とする金肥が普及するようになり、草肥農業は徐々に衰退していく。そして、明治維新を迎え欧米の知見を取り入れるよ

うになった際、化学肥料も受け入れ、明治 26 年に農事試験場が西ヶ原に設立され、土壌肥料を含む農業技術研究が本格的に行われるようになっていった。

なお、西欧においては、1800 年以前は最も重要な肥料源は家畜であったが、1841 年にローズが過リン酸石灰の工場をイングランドに設立するに至り、化学肥料工場が増加していく。こうした西欧における農業変化と工業化については、『農業変化の歴史地理学』（グリッグ、2001）に詳しい。

1840 年にはリービッヒによって“Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology”（化学の農業および生理学への応用）が出版された（吉田、1986）。植物が養分として摂取するのは無機物質であるという「無機栄養説」が唱えられ、近代農業の根幹となる化学肥料産業が発展していくこととなった。1906 年にはハーバー・ボッシュ法の開発により工業的なアンモニアの合成が開始され、化学合成された窒素肥料の農地利用が飛躍的に増加した（La1, 2009）。さらに、1940 年代から 1960 年代にかけて、上述した化学肥料産業の発展による化学肥料の農地への大量投入に加え、近代品種の導入、灌漑設備の整備、病害虫の防除技術の向上、農作業の機械化によって、作物生産量の飛躍的な増加（いわゆる「緑の革命」）をむかえ、今日まで続く近代農業の全盛期となる。しかし、近代農業の目覚ましい発展は、環境に多大な負の影響をもたらすことにもなり、1950 年から 1985 年にかけて、飲料水として使用する地下水や河川中の硝酸態窒素濃度が欧州や欧米で増加し、その増加の主な要因は農耕地で使用された化学肥料であることが報告（WHO, 1985）されるに至り、農業活動に伴う周辺的环境被害や健康被害の見直しが加速した。1992 年には、ブラジルのリオ・デ・ジャネイロで「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」が開催され、農業を含めた持続可能な開発が重要課題となった（UN, 1992）。その後、持続可能な農業についての議論がみられるようになったことは、1-3 にて言及のとおりである。

いつの時代にあっても、農業に際しては土壤肥沃度維持に腐心してきたところである。ここで、土壤肥沃度 (soil fertility) について、岡島 (1976) は「作物の根の培地としての条件を備え、その根を通じて作物の生育に応じて養水分を作物に供給する能力」とし、気候、作付体系、農耕法まで含めて土壤肥沃度と考えるのは適切でなく、それは土地の生産力 (地力) のことであって土壤肥沃度よりも一段高次元のものとしている。江島 (1976) は、土地の豊沃度は肥力および地力からなると定式化している。土壤肥沃度、地力、土壤生産力に関しては、諸々の考え方があがるが、『土の百科事典』(土の百科事典編集委員会, 2014) および『土壤肥料用語事典』(藤原ら, 2010) によれば次のとおりとされている。

#### 【土壤肥沃度 (soil fertility)】

土壤肥沃度は、土壤の化学性のうち、作物の生育に強く関わる性質、すなわち作物の生育に必要な土壤養分の供給力を土壤の自然肥沃度と養分の豊否から総合的に判断するものである (土の百科事典編集委員会, 2014)。地力と類似語であるが、地力が総合的な土壤の生産力を指しているのに対して、自然肥沃度と養分の豊否を中心とした地力の化学的側面を重視したニュアンスを持っている (藤原ら, 2010)。

#### 【地力 (soil fertility)】

1984 年の地力増進法制定の際、日本政府によって「地力とは、土壤の性質に由来する農地の生産力である」と定義された。科学の用語ではなく、作物生産を阻害する原因を土壤に求めるとき、あるいはその打破を肥培管理や土壤の改良に求めるときなどに包括的な用語として用いられてきた。時に土壤生産力といわれる (土の百科事典編集委員会, 2014)。土壤の持つ固有の性質にもとづく自然条件だけでなく、栽培される作物の種類や栽培法などの人間の営為の条件も含めた場合の土壤の能力であるとみなされている (藤原ら, 2010)。

#### 【土壤生産力 (soil productivity)】

土壤生産力は、土壤の化学的・物理的・生物的諸性質の総合で、作物を生産しうる土壤の能力である地力と作物や栽培環境（気象条件や栽培法など）との組み合わせで成り立つ能力のことであり、作物生産量の大小によって表される。わが国の地力保全基本調査においては、土壤生産力に關与する土壤の基準項目として、以下の 14 項目を挙げている。(1) 作土（耕起の対象となる表土）の厚さ、(2) 作物根が伸長できる有効土層の深さ、(3) 表土の礫含量、(4) 耕耘の難度（耕起や碎土の容易さ）、(5) 湛水透水性（水持ちと水はけの程度）（水田の場合）、(6) 土壤の還元の程度（水田の場合）、(7) 土地の過湿（畑の場合）、(8) 土地の過干（畑の場合）、(9) 自然肥沃度（保肥力、固定力および塩基の状態）、(10) 養分の豊否（交換性 Ca, Mg, K や有効態 N, P, Si および微量元素含量と酸度）、(11) 障害性（有害物質や物理的障害など）、(12) 災害性（冠水や地すべりの危険性）、(13) 傾斜（傾斜方向や角度から判断；畑や草地の場合）、(14) 侵食の恐れ（水食や風食；畑や草地の場合）（土の百科事典編集委員会, 2014）。

人間は作物を栽培する目的で耕起し、施肥し、除草し、肥沃さを維持してきた。土壤に目的を持たせたのが農耕地土壤であり、土壤肥沃度の維持向上が期待されてきたところと思われる。培地として土壤に期待される場所は養水分の強度因子を適正に保つうえでの大きな容量因子である（岡島, 1976）。他方で、土壤が持つ最も重要な性質の一つである土壤肥沃度も、土壤生成過程が進行するにつれて発生、発展するものであり、土壤肥沃度の維持・増進には、土壤の組成と性質のあるいくつかの特性だけでなく、土壤と土壤生成因子（気候、生物、地形、母材、時間および人為）に対する共役的な働きかけによって変化させることが必要であり、すべての土壤生成因子に対して総合的な考察が行われなければならないとされる（大羽・永塚, 1988）。土壤は、非常に長い時間をかけて、母材、気候、生物、地形、時間、人為の環境因子が相互に複

雑に関係しながら地表に生成する唯一無二の歴史的な自然体であると捉えるペドロジー（土壌生成分類学）（田村，2011）の観点に立ち，当研究を行った。

## 1-6 土壌微細形態学の観点

土壌微細形態学は，1938年のKubiernaの著書「Micromorphology」の出版に始まり，不攪乱土壌とその薄片の顕微鏡的研究を取り扱った最初の本とされる（Sombroek, 1985）。この本の中で，ファブリック(fabric)の概念を土壌に適用し，種々のファブリックがどのように記載され，分類されるかが示された（Sombroek, 1985）。

1964年には，土壌の記載のための系統的な形態学的アプローチが“Fabric and Mineral Analysis of Soils”（Brewer, 1964）で提案され，Jongerijs（1970）やBabel（1975）他の研究につながっていく。

わが国の先行的な研究として，大政（1951）によるブナ林土壌の研究で土壌微細形態観察が取り入れられた事例，塩入（1960）の日本の温帯林地帯土壌生成の過程について微細形態学的研究が行われた事例等を挙げる事ができる。土壌微細形態学的研究を行うには，土壌を樹脂で固化させ，薄片を作成した上で検鏡しなければならず，薄片作成までにかかなりの時間を要する特徴がある。

その後，土壌薄片の記載方法に関し，第3回国際土壌微細形態学会議（1969）の会期中に，用語の統一と国際的に受容されるような薄片記載法の開発の可能性を検討するため，国際土壌学会の後援により国際的な作業部会が設立された（Sombroek, 1985）。15年間にわたり慎重な検討が行われた結果は，“Handbook for soil thin section description”（Bullock et al., 1985）に取りまとめられた。この中で，土壌微細形態学的記載は，『土壌中ですでに起こったか，起こりつつある過程を再構築するための基礎』となる点において，また『土壌分類に確かな基礎を与える』点において

重要であり、土壌微細形態学は『土壌の生成に含まれるあらゆるプロセスを理解するために必須』であるとされた。

同ハンドブックを活用した研究は、“Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, Second Edition” (Stoops et al., 2018)といった土壌微細形態学のみならず、耕作体系によって引き起こされる土壌構造変化変化に関する研究(Pires et al., 2017), ミミズが団粒形成および土壌有機物のダイナミクスに与える影響に関する研究 (Pulleman et al. 2005), 北西ヨーロッパにおける先史時代農業の微細形態学的証拠に関する研究(Macphail et al., 1990), パンパ北部における後期第四紀古生物, 層序及び景観進化に関する研究 (Kemp et al., 2006), 地質考古学の実践に関する研究 (French, 2005)等, 土壌学および土壌学に関係する多くの分野で活用されており, 土壌微細形態学的知見の重要性がみてとれる。

落ち葉堆肥等身近な素材活用に関する研究としては, 例えば, 身近な素材の利用の観点からの研究 (Mhindu et al., 2013), 里山保全活動における堆肥化年の違いによる化学的・生物学的変化の観点からの研究 (市川ら, 2010), および落ち葉堆肥の水田への施用事例の研究 (逢沢ら, 2013) 等の事例がある。有機物の連続施用が土壌の理化学性に及ぼす影響については多くの研究事例があるが (例えば, Tebrügge and Düring (1999), Edmeades (2003), Johnston et al.(2009), Scotti et al.(2015), Tshuma et al.(2021)), 土壌微細形態学的な研究視点は限定的である。

また, 日本における自然土壌としての黒ボク土の微細形態に関する研究事例はあるが (例えば, 寺沢(1984), 田村ら(1993), 久保寺・山田(1997)), 黒ボク土における有機物の長期施用に関する土壌微細形態学的研究は限られている (例えば, 林(2006), Nakatsuka and Tamura(2016), Kubotera et al. (2016)).

土壌微細形態学は、すべての土壌分野における統合ツールとして機能し、土壌の微細形態学的アプローチは、土壌への長期的な影響を調べる上で重要なアプローチの 1 つである (Blum, 2008) ことから、本研究において重要な視点と考えられた。

### 1-7 本研究の目的と意義

本研究は、武蔵野台地の一角を占め、現在においても往時の地割を色濃く残す三富新田において、平地林からの落ち葉を落ち葉堆肥として活用した農法が、現代においても継続して行われており、伝統的農法における落ち葉堆肥長期連用土壌の特徴の解明を目的としたものである。

これまで、歴史地理学 (例えば、矢嶋, 1954)、景観評価 (例えば、Indrawan et al., 2014)、地域生態学 (例えば、武内ら, 2001) 等の観点で三富新田が取り上げられてきたが、土壌面に関する研究はほとんど行われていない。また、こうした典型的な里山環境下での土壌微細形態に関する情報も限られている。

元は入会秣場が新田開発 (要すれば農地造成) され、一方は平地林として、もう一方は畑地として、人間の活動が直接的な形成因子として作用したこの地域の土壌を理解するためには、生物性等短期で変動する項目のみならず、比較的長期の影響が反映されると考えられる土壌微細形態学的な検討を進めた。

人間の活動が直接的な形成因子として作用したこの地域の土壌を理解するため、当地における特徴的な自然環境である風食環境下にあつて、土壌肥沃度を発現させ作物生産を行う平地林-畑地連関システムと、その特徴について解明を試みた。

三富新田で展開されている伝統的な平地林由来の落ち葉堆肥活用農法の環境保全型農業の観点から検討を行うとともに、三富新田の景観および里地里山としての位置づけの重要性を認識しつつ、三富新田の今日的意義を考察した。

## 第2章 三富新田地域の自然環境，歴史地理および農業

### 2-1 はじめに

三富地域は，埼玉県西部の川越市，所沢市，狭山市，ふじみ野市，三芳町の5市町にまたがる地域で，首都圏30 km圏内にありながら，今でも，江戸時代に開拓された「三富新田」を中心とした農地と平地林の織りなす武蔵野の景観が広がっている。「三富新田」は，上富・中富・下富地区からなり，主に三芳町および所沢市に位置している（図2-1）。地域の東側には関越自動車道が南北に走り，周辺では市街地が，東武東上線，西武新宿線・池袋線などの鉄道路線に沿う形で形成されており，周辺人口は5市町合わせて約99万人（埼玉県 2022b）となるなど都市化が進展している。

本章では，次章以降において，三富地域土壌を考察するに際して必要な自然環境，歴史地理および展開されている農業の概要について述べた。まず，当該地域の自然的特徴を論じ，次いで，当該地域の歴史地理を集落の形成に焦点を当てつつ述べ，さらに，江戸時代より継続し展開されている平地林由来の落ち葉堆肥活用農法に言及した。

### 2-2 三富新田地域の自然環境

三富新田の位置する武蔵野台地は，関東平野の南西部に位置し，関東ロームに覆われた扇状地状の洪積台地である。青梅市（標高約180 m）付近を扇頂とし，その東方に向かって緩傾斜をもって展開し，台地の東端は標高約20 mで，急崖をなして沖積低地に臨んでいる（矢嶋 1954）。台地の周縁は，関東山地より発源する多摩川，荒川および入間川によって画され，東西約40 km，南北約30 kmに及ぶほぼ長方形に近い輪郭を示している（図2-2）。また，武蔵野台地は，日本において最も模式的な乏水性の台地として知られ，新田集落分布地域としても典型的なところ（矢嶋 1954）とされている。矢嶋（1954）は，自然発生的村落が，概ね台地の周縁や丘陵の麓および台地東部の侵食谷付

近に分布するのに対し、新田集落はそのほとんどすべてが台地面の高燥な地域に分布し、顕著な対照を示しており、乏水性地域における集落立地を規制する主な因子として水利条件を提示し、その克服過程の究明を通じて武蔵野台地の地理的性格を論究した。三富新田は、武蔵野台地北東部の台地面の標高約 60-50 m 付近に分布し、武蔵野台地に分布する新田の中でも、特にその規模の大きさと、整然とした開拓当時の模式的な列状集落形態が残っていることで知られている。

地形的に一続きで、地質構造からも関東構造盆地という一つの構造単元をなす関東平野は、火山灰編年学の観点からほぼ北緯 36 度を境として北関東および南関東（概ね利根川以南）に区分できる（関東ローム研究グループ 1965）。三富新田の位置する武蔵野台地は南関東に区分され、南関東の関東ローム層は、主として富士・箱根方面の火山灰由来（関東ローム研究グループ 1965）とされている。南関東の地形面は、関東ロームによる火山灰編年により、下位より、多摩面、下末吉(S)面、武蔵野(M)面、立川面（、沖積面）に区分される。武蔵野台地は、武蔵野(M)面と武蔵野ローム層の標識地になっており、武蔵野台地における関東ローム層と地形面区分については、杉原ら（1972）により、下位より、S1 面に対比される淀橋面、S2 面に対比される成増面、M1 面に対比される赤羽面、M2 面に対比される中台面とされた。また、武蔵野台地の下末吉ローム層は、鉱物組成上カンラン石が乏しく角閃石の比率が大きいことで、カンラン石が卓越する武蔵野ローム層と識別することができる（杉原ら 1972）とされた。

三富新田近くの所沢市アメダスによれば、この地域の年平均気温は 14.6 °C、年平均降水量は 1530 mm である（気象庁 2022a）。冬から春にかけては、しばしば強い北西の季節風が吹き、 $10 \text{ m s}^{-1}$ を超える風速となる日が多く、風食が発生する。風食については、例えば 2017 年 2 月 3 日朝日新聞記事「首都圏で「砂ぼこり」広範囲に発生 2 日午後を確認」（朝日新聞、2017）の中で、「茶色の「砂ぼこり」が広範囲にわたって舞い上がる様子は武蔵野台地などでよく起こる「冬の風物詩」で、北西の風に乗って東京都

心方面に流れている」様子が写真とともに紹介された。また、1月と2月には最低気温が0℃を下回る日もあるため、霜柱の形成がみられる。当該地域の作物生産に際しては、冬～春における風食および霜害の問題がある。

武蔵野台地の植生は、国木田独歩「武蔵野」に「昔の武蔵野は萱原のはてなき光景を以て絶類の美を鳴らして居たように言い伝えてあるが、今の武蔵野は林である。林は実に今の武蔵野の特色といってもよい。即ち木は重に檜の類で冬は悉く落葉し、春は滴るばかりの新緑萌え出ずるその変化が秩父嶺以東十数里の野一斉に行われて、春夏秋冬を通じ霞に雨に月に風に霧に時雨に雪に、緑蔭に紅葉に、様々の光景を呈するその妙は一寸西国地方又た東北の者には解しかねるのである。…」(国木田, 1949)とあるように、武蔵野の雑木林が有名であるが、人の手の入った林であって当地の潜在自然植生ではない。宮脇ら(1973)により、「武蔵野台地や大宮台地をはじめ関東ローム層が厚く堆積した台地面の原植生、潜在自然植生はシラカシ群集」とされている。三芳町上富地区の多福寺周辺の一部にはシラカシ林があり、埼玉県により「三芳町多福寺自然環境保全地域」に指定されている。

三富新田地域に分布する土壌は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)「日本土壌インベントリー」により、腐植質厚層アロフェン質黒ボク土(「腐植質表層」をもつ厚層アロフェン質黒ボク土)が分布する(農研機構 2022)とされている。

### 2-3 三富新田地域における歴史地理

「武蔵野の集落」を著した矢嶋(1954)によれば、武蔵野台地は、我が国において最も模式的な乏水性の台地として知られ、また新田集落の分布地域としても典型的なところとされている。矢嶋は、三富新田について同上著書の中で、「三富新田の開拓過程と飲料水問題」、「新田集落の土地割」および「土地利用と新田集落の立地との関係」の3

つの節を設け、他の新田と比較しながら分析を展開した。ここでは、矢嶋（1954）による三富新田の台地集落としての集落地理学的知見を示しつつ、現在も展開されている平地林由来の落ち葉堆肥を活用した農業の基盤となる知見を提示する。

江戸期の新田開発には、3回の隆盛が認められるとされる（菊地 1977）。新田開発の第1回隆盛期は、寛永（1624）から寛文（1672）に至る約50年間、2回目は元禄末から延享に至る概ね1700年頃から1747年頃の約50年間、第3期は寛政改革（1789）以降明治に至るまでの時期である。隆盛期と低迷期を伴いつつ、新田開発は、生産力を高める流れの中で有効な方法として展開されてきた。

ところで「新田」であるが、菊地（1977）によれば「近世において、本田（古村）の成立以後に開発された耕地ならびに新村を言う」とされ、新田開発は単なる農耕地の空間的拡大を超え、近世という時代相を形作る規定を担っていたとされている。

三富新田は、川越藩の藩営新田で、江戸期における2回目の新田隆盛期に先駆け、元禄7年（1694）から同9年（1696）に開発が行われた。「三富開拓誌」（三富史蹟保存会 1929）によれば、三富新田は、29か村の百姓が「野銭を納め、秣場として秣及び茅等を採取し」ていた入会地であった原野1300町歩の地を、時の川越城主柳沢吉保によって開拓されたものである。以下の構想の下、上富、中富、下富の3か村が作られた。

「開創に先立ち幅6間の道路を周囲縦横に開き、これに沿うて民宅を構へ、1戸の間口44間、奥行375間、坪数1万5千坪（5町歩）とし、表口を住宅、その後方を畑地、最後方を山林とし、1戸毎に耕作道を附す、又耕作道に沿うて畦畔毎に卯ツ木を植う、是を卯ツ木敷と云ふ、以て居住民の便安を図る、更に精神的安住の中心として、菩提所として多福寺と、祈願所として多聞院を、その中央に創立したり。…」こうして形成された、三富新田における短冊形地割一筆の模式図を、図2-3に示した。1軒分の土地区割の中で、屋敷地の面積は約5反（5,000 m<sup>2</sup>）、畑地は2.5ha（2町5反）から3ha（3町）を占め、土地区画の最奥には概ね2ha（約2町分）を占める平地林が造成された（国

土交通省都市局，2014）とされている。

元禄 9 年（1696）に検地が行われた際の畑面積を表 2-1 に示した。上富および中富は，上畑，中畑，下畑，下々畑の 4 等級に区分され，下々畑の区分地が 4 割を超え，上畑は 1 割に満たない。下富は，上畑，中畑，下畑，下々畑，野畑の 5 等級に区分され，下々畑および野畑が 5 割を超え，ごくわずかであった。概して上畑の面積が少なく，下々畑が卓越していることから，本地域が開拓地であり，初期条件として土地生産力，土壌肥沃度が低かったことを示している。

矢嶋（1954）は，武蔵野台地の新田集落を調査・分析し，注目すべきは各新田において，いずれも各戸で一定面積の山林を保有していたこととし，この時代の農業経営上，必須の草肥，堆肥等の生産資材および燃料等の生活資材の供給源としての役割を山林が果たしており重要性を持っていることを示していると述べた。列状集落の形成と短冊形の土地割の成立は，純農業集落としての新田の生活形態面からみてもっともよく適合したもので，農業経営様式の類似した現在においても，こうした土地割りはかなりよく守られ，開拓当初の形態を現在も踏襲しているものが多いと論じた。

図 2-4 に三富新田上富地区の航空写真画像を示した。左は 1947 年，右は 2019 年撮影の国土地理院航空写真画像であるが，戦後間もない 1947 年撮影画像（左）では，矢嶋（1954）の論究のように，開拓当初と思われる形態がよく残されていることがわかる。現在では，武蔵野台地上の新田開発集落の中には，都市化によりその形態をとどめていないところが多い中で，三富新田においては都市化が進む中であっても図 2-4（右）画像のとおり，まだよく開拓当時の形態が残っている貴重な地域となっている。それゆえに，三富新田は，歴史的にも，都市近郊農業地としても，また武蔵野の景観保全の観点でも重要な位置を占めると考えられ，埼玉県（2022a）により「埼玉県指定旧跡」および「ふるさとの緑の景観地」に認定されているほか，「にほんの里 100 選」（森林文化協会 2022）にも選定されている。

## 2-4 三富新田地域における落ち葉堆肥を活用した農業

三富新田地域で展開されている落ち葉堆肥を活用した農業は、「火山灰土に厚く覆われ痩せた土地に、江戸時代から木々を植えて平地林を育て、落ち葉を集めて堆肥として畑に入れ、土壌改良を行うことで安定的な生産を実現し、その結果として景観や生物多様性を育むシステムが、今なお継承されている」ことから「武蔵野の落ち葉堆肥農法」として日本農業遺産に認定された（農林水産省 2022）。

短冊形地割の最奥の平地林は、「開拓の当時居を構えし者に、1戸3本ずつの檜苗を配分したりと云う、現今繁茂せる檜はその後身である」と「三富開拓誌」に記載があり、開拓を端緒に作り上げてきたことが伺える。地元では、よく言う雑木林とは呼称しない。雑木という役に立たない樹木ではないため、ヤマと呼び習わされている。冬場の農閑期には、ヤマに入り落ち葉が掃き集められる。1反のヤマから約500kgの落ち葉が確保できる（松本 1997）と言われており、堆肥やさつまいもの苗床に利用される。三富新田で、1反の畑にはヤマ1反をつけてやれ、と言われる意味は、三富新田の畑は痩せているのでその肥料を補うためには1反のヤマから得られる落ち葉が必要とのいうことを教えてくれているという（松本 1997）。こうしたヤマは、約10年から20年サイクルで伐採され、伐採された木の切り株からは若芽が伸び、再び成木になる（萌芽更新）。萌芽更新させる知恵が、平地林循環システムを機能させてきたといえる。こうして伐採された木は薪として江戸に出荷・販売され、江戸の燃料を賄う一翼を担っていた（三芳町史研究会 1986）

こうした落ち葉の利用は、図2-5にまとめて示した。落ち葉は1月頃にヤマから掃き出し、各農家独自の資材等を混合しつつ、一定期間管理する。約2年で土と見間違うような落ち葉堆肥が調製される。

また、現在でも伝統的なサツマイモ育苗技術である「踏込み温床伏せ込み」を活用

している農家もある。著者が「踏み込み温床伏せ込み」を活用している農家にヒアリングの結果、「踏み込み温床伏せ込み」の概要は以下のとおりである。

- ① 今年掃いた落ち葉を敷きつめて踏み込む（大体3月上～中旬）。
- ② その上に米ぬか1斗を施用。発酵熱利用のため、水をたっぷりかける。
- ③ 約1週間後（熟予備）、去年の落ち葉堆肥を敷きつめる（3月中旬頃）。
- ④ その上に、保存しておいたサツマイモ苗を置く。
- ⑤ 去年の落ち葉堆肥で覆う。
- ⑥ 乾燥防止及び蓄熱のため、もみ殻で覆う。
- ⑦ 25°Cが最適な温度であり、霜よけのシート開閉等で温度調節を行う。（図2-3の画像は4月中旬）
- ⑧ 定植は、5月上旬ころ（苗の状況で判断）。

当研究では、300年にわたる落ち葉堆肥を活用した伝統的な農業を13代にわたり営んでいる農家に協力いただき、当該畑地（35° 49' 58" N, 139° 29' 53" E）（三富1）および背後の平地林（35° 49' 49" N, 139° 29' 39" E）（三富2）において土壌調査を行った。ヒアリングの結果、当該農家では、年間約3-5 t ha<sup>-1</sup>の落ち葉堆肥（全炭素 345.6 g kg<sup>-1</sup>、全窒素 18.1 g kg<sup>-1</sup>、C/N比 19.1）を、サツマイモ栽培用に、畑地に条播し、ロータリティラーで約30 cmの深さまで耕起・混和していた。落ち葉堆肥調製に際しては、米ぬかを加えているとのことであった（ヒアリング実施：2017年5月4日）。

また、他の2農家にご協力いただき、採取した落ち葉堆肥を、第3章に示した分析方法により分析した結果を表2-2に示した。落ち葉堆肥は、各農家に伝承の方法に工夫を加えて調製されており、各農家での調製方法及び添加するものが異なることから、落ち葉堆肥の分析結果が異なっていたと考えられた。

なお、宇都宮近郊の平地林における落ち葉および落ち葉堆肥（水田施用用）の逢沢ら

(2013)による分析値を表 2-3 に示した。落ち葉堆肥調製の際の添加物，および水田向けである点等の相違はあるが，概ね落ち葉堆肥の成分含有には大きな相違がないことが確認できた。

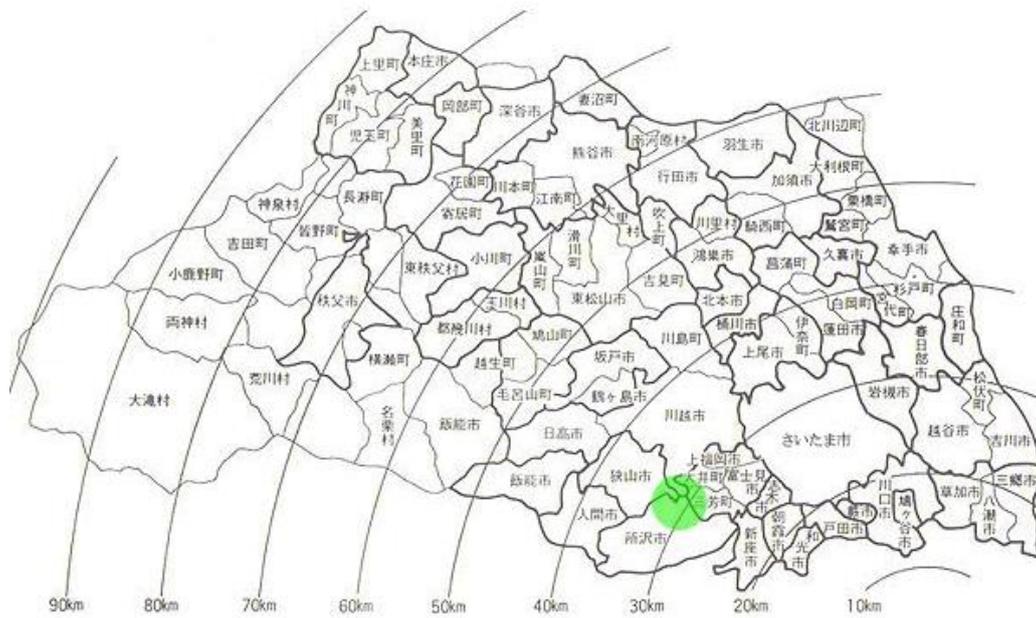


図 2-1 三富新田の位置. 緑色の丸で示した. 東京都心から概ね 30 km に位置する. 埼玉県ホームページ (<http://www.pref.saitama.lg.jp>) より転載. (参照 2020-12-02)

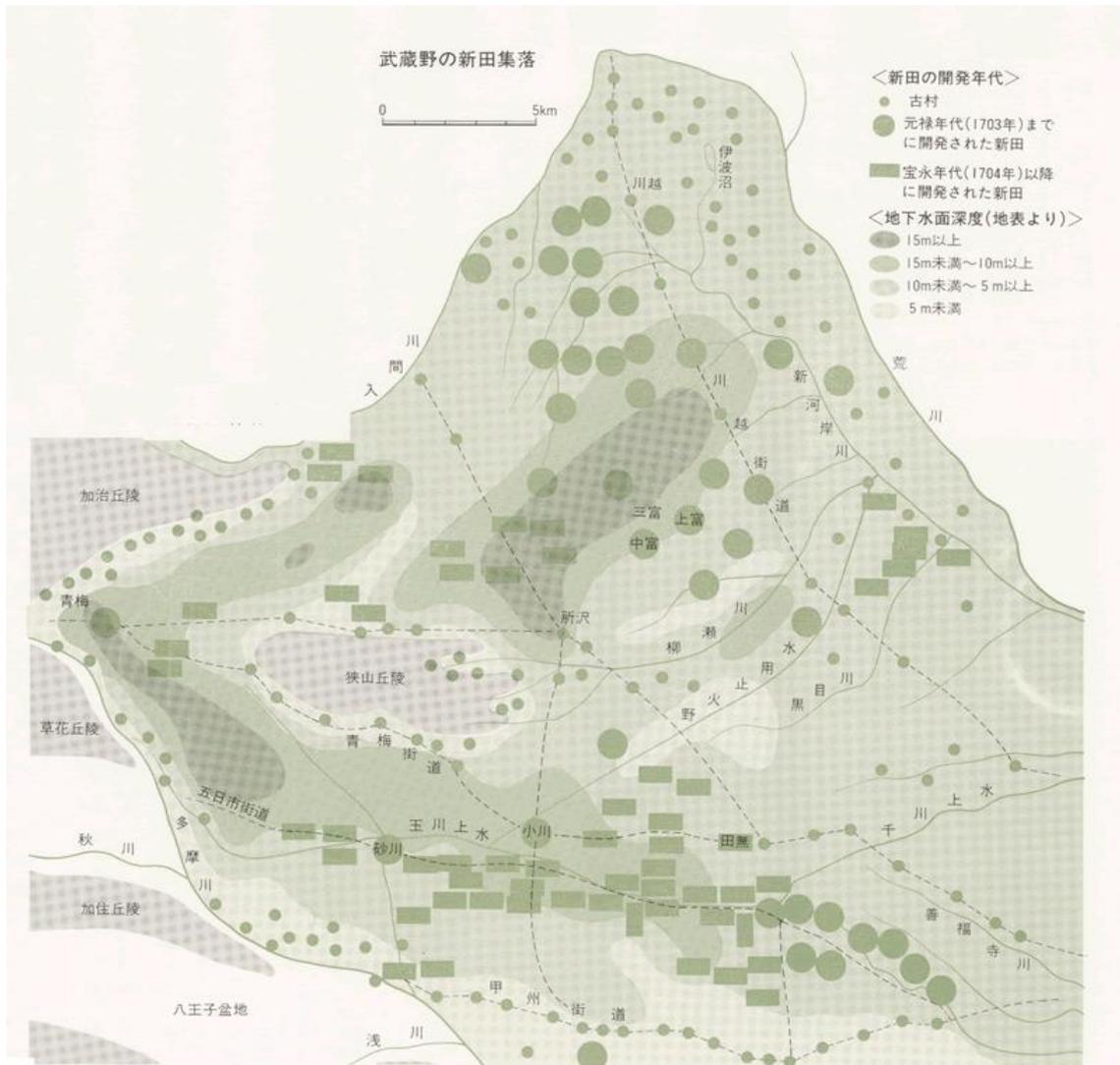


図 2-2 武蔵野台地および新田集落の分布

一般社団法人農業農村整備情報総合センターホームページ「水土の礎」より転載。  
 (<https://suido-ishizue.jp/daichi/part2/02/03.html>) (参照 2022-12-24)

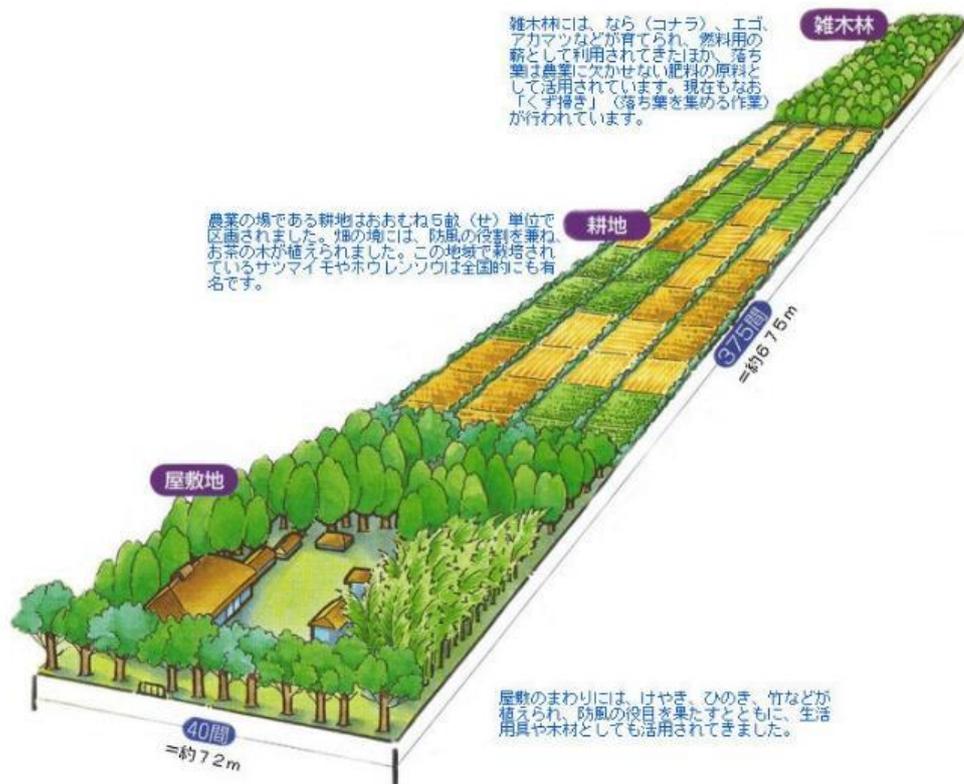


図 2-3 三富新田における短冊形地割の模式図

三芳町立歴史民俗資料館公式 HP (<http://www.jade.dti.ne.jp/~miyoshir>) から転載. (参照 2022-11-17)

表2-1 元禄9年（1696年）三富新田検地帳による畑面積（菊地 1986）

	上畑	中畑	下畑	下々畑	野畑	合計
	(反. 畝. 歩)					
上富	224. 5. 14	504. 8. 26	1757. 6. 19	1945. 3. 7	-	4435. 4. 6
中富	225. 9. 10	304. 4. 6	839. 5. 20	729. 7. 19	-	1999. 6. 25
下富	7. 1. 2	66. 0. 8	950. 7. 3	1413. 4. 14	87. 9. 9	2549. 7. 16

※上富および中富では、野畑の区分の記載はない。

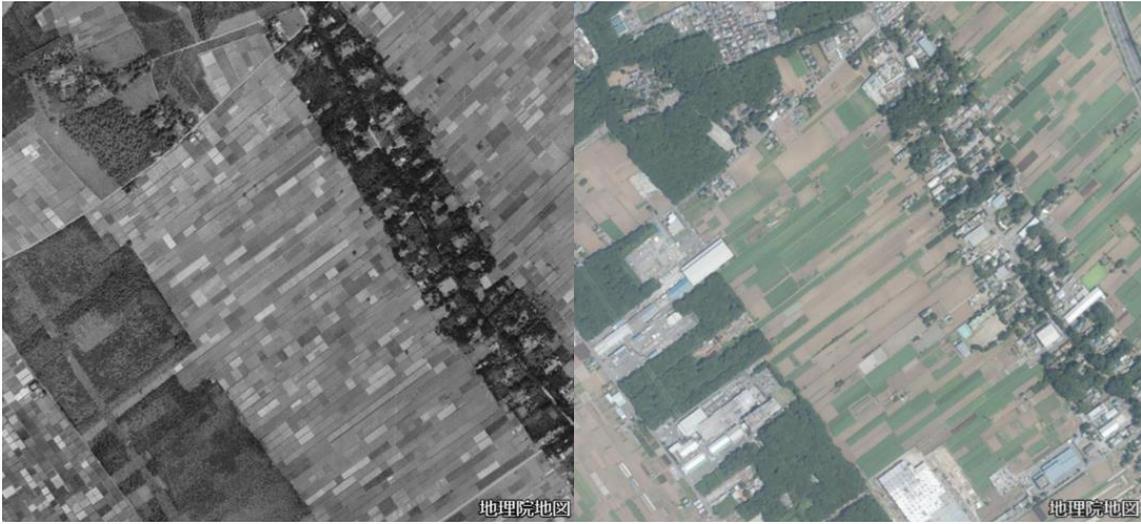


図 2-4 三富新田上富地区の航空写真画像 左は 1947 年，右は 2019 年撮影．国土地理院航空写真を使用．（参照 2022-11-06）



①落ち葉掃き…1月頃ヤマから落ち葉を回収



②コノハヤド（木の葉宿）…一定期間保存



③落ち葉堆肥



「踏み温床伏せ込み」によるサツマイモの育苗

図2-5 落ち葉の利用

表2-2 三富新田における落ち葉および落ち葉堆肥の成分含有量

	TC	TN	C/N	Ca	Mg	K	P
	g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>		g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>
落ち葉(農家Aの平地林)	507.7	12.2	41.6	12.9	3.9	3.3	0.5
落ち葉堆肥							
農家 A	345.6	18.1	19.1	26.8	5.9	4.4	4.1
農家 B	341.6	14.5	23.6	26.8	4.6	7.4	2.8
農家 C	374.9	17.3	21.7	22.9	4.1	3.6	1.7

表2-3 宇都宮市近郊平地林における落ち葉および落ち葉堆肥の成分含有量(逢沢ら 2013)

	TC	TN	C/N	Ca	Mg	K	P
	g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>		g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>	g Kg <sup>-1</sup>
落ち葉	486	10.9	44.8	16.0	1.8	1.9	0.5
落ち葉堆肥	384	17.8	21.6	35.5	5.7	2.3	0.5

### 第3章 三富新田地域土壌の断面形態，理化学性および生物性

#### 3-1 三富新田地域土壌の調査及び断面形態

##### 3-1-1 土壌調査地点

300年という長期にわたり連綿と続く平地林由来の落ち葉堆肥を活用した三富新田を代表できる圃場および平地林は，埼玉県川越農林振興センターより紹介頂いた4氏より調査に協力頂くこととした．調査地点は図3-1に，調査地点の概要を表3-1に示した．

##### ①三富1；落ち葉堆肥連用畑地

約300年にわたり落ち葉堆肥施用と伝承されている．現在13代目とのことであった．栽培作物はサツマイモ (*Ipomoea batatas*) である．現在でも昔ながらの「踏込み温床伏せ込み」により育苗を行っている数少ない農家である．

##### ②三富2；平地林

三富1の奥に位置する三富1農家所有の平地林．落ち葉掃きを冬季に行い，落ち葉を採集し，落ち葉堆肥を調製している．主要樹種はコナラ (*Quercus serrata*) である．

##### ③三富3；休閑地

ヒアリングの結果，2015年調査時点で最低34年間，作物栽培や落ち葉堆肥を含む施肥は行っていない．作業は，除草のため雑草の鋤込みを年2回，行っているのみの休閑地である．

##### ④三富4；落ち葉堆肥連用畑地

三富3に隣接する落ち葉堆肥連用畑地である．本家からの分家で現在9代目とのことであった．栽培作物はサツマイモ (*Ipomoea batatas*) である．

##### ⑤三富5；落ち葉堆肥連用畑地

320年前からの農家で現在10代目．三富1～4と比べると比高が低い地点で，サツマイモの栽培は行っておらず，サトイモ (*Colocasia esculenta*) とニンジン (*Daucus*

*carota* subsp. *sativus*) の輪作を基本としている。かつては芝の栽培を行った時期もあったとのことであった。

#### ⑥三富 6 ; 平地林

三富 1 ~ 4 と比べ比高が低い地点に位置する, 三富 5 農家所有の平地林. 落ち葉掃きを冬季に行い, 落ち葉堆肥を調製し, 三富 5 で施用している. 主要樹種はコナラ (*Quercus serrata*) である.

### 3-1-2 土壌断面調査方法および試料採取

土壌調査は, 「土壌調査ハンドブック 改訂版」(日本ペドロロジー学会編, 1997) に基づき, 2015 年 10 月 (三富 1, 2 および 3), 2015 年 12 月 (三富 4), 2016 年 3 月 (三富 5) および 2016 年 9 月 (三富 6) に行った.

それぞれの土壌断面の各層位より採取した土壌試料は, 風乾後, 2 mm 目の篩を通した風乾細土を調製し, 土壌の化学性分析に供した. 分析供試量が 1 g 以下の少量の場合には, 風乾細土を全粉碎し, 0.5 mm 目の篩を全通させた風乾細微土を用いた.

土壌の物理性の測定試料は, 100 ml 容ステンレスコアサンプラーを用いて, 0-5 cm, 30-35 cm, および 45-50 cm の各層位より 3 連で不攪乱土壌試料を採取した.

また, 土壌微細形態検鏡用の土壌薄片作成のため, 土壌の物理性の測定試料と同一の層位より, 不攪乱土壌コア試料の採取を行った.

### 3-1-3 土壌断面形態

いずれも, 母材は火山灰, 堆積様式は風成, 地表の露岩はなく, 地形は台地平坦面, 排水性は良好であった.

### 3-1-3-1 落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富1）

調査年月日：2015年10月24日

作物：サツマイモ (*Ipomoea batatas*)

土壌調査地点画像：図3-2

土壌断面画像：図3-3

土壌断面記載：

Ap1：0-16 cm，暗褐色(10YR3/3)，粒状構造(1-2 mm)発達強度，団粒状構造(3-5 mm)発達中度，LiC，粘着性弱，可塑性弱，ち密度極疎(3 mm)，碎易性疎しょう，半湿，細根含む，活性アルミニウム反応+++，層界平坦判然

Ap2：16-30 cm，極暗褐色(7.5YR2/3)，粒状構造(1-2 mm)発達強度，LiC，粘着性弱，可塑性弱，ち密度極疎(5 mm)，碎易性疎しょう，半湿，小根あり，活性アルミニウム反応+++，層界平坦判然

AB：30-43 cm，暗褐色(7.5YR3/3)，亜角塊状構造発達中度，HC，粘着性弱，可塑性強，ち密度中(19 mm)，碎易性疎しょう，半湿，細根含む，小根あり，細管状孔隙あり，活性アルミニウム反応+++，層界不規則明瞭

Bw1：43-70 cm，暗褐色(7.5YR3/4)，壁状構造，HC，粘着性弱，可塑性強，ち密度中(24 mm)，碎易性堅硬，半湿，細根あり，小根あり，細管状孔隙あり，活性アルミニウム反応+++，層界平坦漸変

Bw2：70-90 cm，暗褐色(7.5YR3/4)，壁状構造，HC，粘着性弱，可塑性強，ち密度密(25 mm)，碎易性堅硬，半湿，細根あり，小根あり，細管状孔隙あり，活性アルミニウム反応+++，層界波状判然

2B：100 cm+，暗褐色(10YR3/4)，壁状構造，HC，粘着性弱，可塑性強，ち密度中(24 mm)，碎易性碎易，半湿，細根まれ，細管状孔隙あり，活性アルミニウム反応+++，層界平坦漸変

※その他：ゴボウトレンチ箇所あり（30-50 cmまでAB層が続いている）。

### 3-1-3-2 平地林土壌（三富2）

調査年月日：2015年10月24日

主要樹種：コナラ (*Quercus serrata*)

土壌調査地点画像：図3-4

土壌断面画像：図3-5

土壌断面記載：

Oie : 0-+1 cm

A1 : 0-10 cm, 黒褐色 (7.5YR2/2), 団粒状構造 (1-5 mm) 発達強度, LiC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度疎 (12 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根含む, 小根含む, 中根あり, 活性アルミニウム反応+++ , 層界波状判然

A2 : 10-22 cm, 黒色 (10YR2/1), 団粒状構造 (1-5 mm) 発達強度, LiC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度疎 (16 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根含む, 小根含む, 活性アルミニウム反応+++ , 層界波状判然

A3 : 22-38 cm, 黒色 (10YR1.7/1), 団粒状構造 (1-5 mm) 発達中度, LiC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度疎 (15 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根含む, 小根含む, 活性アルミニウム反応+++ , 層界不規則明瞭

A4 : 38-50 cm, 黒褐色 (7.5YR2/2), 亜角塊状構造  $\phi$  1-4 cm 発達中程度ないし団粒状構造 (1-3 mm) 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度疎 (16 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根含む, 小根含む, 活性アルミニウム反応+++ , 層界不規則判然

Bw1 : 50-72 cm, 極暗褐色 (7.5YR2/3), 亜角塊状構造  $\phi$  1-7 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度中 (20 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根あり, 小根あり, 細管状孔隙含む, 活性アルミニウム反応+++ , 層界波状漸変

Bw2 : 72-100 cm+, 暗褐色 (7.5YR3/4), 亜角塊状構造  $\phi$  1-5 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性強, ち密度中 (20 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根まれ, 小根まれ, 細管状孔隙富む, 活性アルミニウム反応+++

### 3-1-3-3 休閑地 (三富3)

調査年月日 : 2015 年 10 月 25 日

作物 : なし (除草のための鋤き込み耕起を年 2 回実施のみの休閑地)

土壌調査地点画像 : 図 3-6

土壌断面画像 : 図 3-7

土壌断面記載 :

Ap1 : 0-11 cm, 黒褐色 (10YR2/3), 無構造~わずかに小粒状構造あり, LiC, 粘着性弱, 可塑性弱, ち密度極疎 (2 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根まれ, 活性アルミニウム反応+++ , 層界平坦判然

Ap2 : 11-24 cm, 黒褐ないし極暗褐色 (7.5YR2/2.5), 粒状構造 (1-2 mm) 発達弱度 (無構造に近い), LiC, 粘着性弱, 可塑性弱, ち密度極疎 (8 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根まれ, 活性アルミニウム反応+++ , 層界平坦判然

A3 : 24-35 cm, 黒褐色 (7.5YR2/2), 亜角塊状構造  $\phi$  0.5-1 cm 発達弱度, 団粒状構造 (1-3 mm) 発達弱度, LiC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度疎 (18 mm ; 年 2 回の雑草鋤き込み耕起による耕盤か?), 碎易性疎しょう, 半湿, 活性アルミニウム反応+++ , 層界不規則明瞭

AB : 35-71 cm, 極暗褐色 (7.5YR2/3), 亜角塊状構造  $\phi$  0.5-1 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性強, ち密度極疎 (10 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細管状孔隙富む, 活性アルミニウム反応+++ , 層界不規則明瞭

Bw1 : 71-85 cm, 褐色 (7.5YR4/6), 亜角塊状構造  $\phi$  1-5 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可

塑性強，ち密度中(23 mm)，碎易性堅硬，半湿，細管状孔隙含む，活性アルミニウム反応+++，層界波状判然

Bw2 : 85-110 cm+，褐色(7.5YR4/6)，壁状構造，HC，粘着性弱，可塑性強，ち密度中(24 mm)，碎易性堅硬，半湿，細管状孔隙含む，活性アルミニウム反応+++

### 3-1-3-4 落ち葉堆肥連用畑地土壌(三富3隣接地)(三富4)

調査年月日：2015年12月19日

作物：サツマイモ (*Ipomoea batatas*)

土壌調査地点画像：図3-8

土壌断面画像：図3-9

土壌断面記載：

Ap1 : 0-13 cm，黒褐色(7.5YR2/2)，団粒状ないし粒状構造(1-3 mm)発達中度，LiC，粘着性弱，可塑性中，ち密度極疎(2 mm)，碎易性碎易、半湿，細根および小根含む，活性アルミニウム反応+，層界波状漸変

Ap2 : 13-22 cm，黒褐色(7.5YR2/2)，団粒状ないし粒状構造(1-5 mm)発達強度，LiC，粘着性弱，可塑性中，ち密度極疎(4 mm)，碎易性碎易、半湿，細根あり，活性アルミニウム反応++，層界波状漸変

A3 : 22-35 cm，黒褐色(7.5YR2/2)，団粒状ないし粒状構造(1-3 mm)発達中度，LiC，粘着性弱，可塑性中，ち密度極疎(7 mm)，碎易性碎易、半湿，細根まれ，活性アルミニウム反応++，不規則明瞭

AB : 35-50 cm，極暗褐色(7.5YR2/3)，団粒状ないし粒状構造(1-3 mm)発達中度，HC，粘着性弱，可塑性中，ち密度極疎(9 mm)，碎易性碎易、半湿，細根まれ，活性アルミニウム反応+++，不規則判然

Bw1 : 50-73 cm，褐色(7.5YR4/4)，亜角塊状構造φ0.5-5 cm 発達中度，HC，粘着性弱，

可塑性中，ち密度中(21 mm)，碎易性堅硬、半湿，細根まれ，細管状孔隙あり，活性アルミニウム反応+++，不規則漸変

Bw2 : 73-100 cm+, 褐色(7.5YR4/4)，亜角塊状構造  $\phi$  0.5-5 cm 発達中度，HC，粘着性弱，可塑性中，ち密度中(24 mm)，碎易性堅硬、半湿，細管状孔隙まれ，活性アルミニウム反応+++

### 3-1-3-5 落ち葉堆肥連用畑地土壌（比高低）（三富5）

調査年月日：2016年3月13日

作物：サトイモ(*Colocasia esculenta*) / ニンジン(*Daucus carota* subsp. *sativus*)等の輪作（サツマイモ栽培には向かないとのことであった。）

土壌調査地点画像：図3-10

土壌断面画像：図3-11

土壌断面記載：

Ap1 : 0-20 cm，黒褐色(7.5YR2/2)，亜角塊状構造  $\phi$  1-5 cm 発達中度，団粒状構造(1-3 mm)発達中度，LiC，粘着性弱，可塑性弱，ち密度疎(16 mm)，碎易性極碎易、半湿，細根まれ，小・細管状孔隙含む，活性アルミニウム反応++，層界波状判然

Ap2 : 20-30 cm，黒褐色(7.5YR2/2)，亜角塊状構造  $\phi$  0.5-3 cm 発達中度，団粒状構造(1-3 mm)発達中度，LiC，粘着性弱，可塑性弱，ち密度疎(17 mm)，碎易性極碎易、半湿，細根まれ，細管状孔隙含む，活性アルミニウム反応++，層界波状明瞭

AB : 30-45 cm，黒褐色(7.5YR2/2)，亜角塊状構造  $\phi$  0.5-3 cm 発達中度，団粒状構造(1-3 mm)発達中度，LiC，粘着性弱，可塑性弱，ち密度疎(13 mm)，碎易性極碎易、半湿，細根まれ，細管状孔隙あり，活性アルミニウム反応++，層界不規則明瞭

Bw1 : 45-70 cm，暗褐色(7.5YR3/3)，亜角塊状構造  $\phi$  0.5-4 cm 発達中度，HC，粘着性弱，可塑性中，ち密度中(19 mm)，碎易性碎易、半湿，細管状孔隙あり，活性アルミニウム

ウム反応+++，層界不規則漸変

Bw2 : 70-100 cm+, 暗褐色 (7.5YR3/3), 亜角塊状構造 φ 1-5 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度中 (24 mm), 碎易性碎易、半湿, 細管状孔隙あり, 活性アルミニウム反応+++

### 3-1-3-6 平地林土壌 (比高低) (三富6)

調査年月日 : 2016年9月11日

主要樹種 : コナラ (*Quercus serrata*)

土壌調査地点画像 : 図 3-12

土壌断面画像 : 図 3-13

土壌断面記載 :

Oie : 0-+1 cm

A1 : 0-10 cm, 黒褐色 (7.5YR2/2), 団粒状構造 (1-5 mm) 発達強度, LiC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度疎 (11 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根富む, 小根富む, 中根含む, 活性アルミニウム反応++, 層界波状判然

A2 : 10-20 cm, 黒褐色 (7.5YR2/2), 団粒状構造 (1-5 mm) 発達強度, LiC, 粘着性弱, 可塑性中, ち密度極疎 (10 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根富む, 小根富む, 大根あり, 活性アルミニウム反応++, 層界波状判然

AB : 20-32 cm, 極暗褐 (7.5YR2/3), 団粒状構造 (1-3 mm) 発達中度, 亜角塊状構造 φ 1-3 cm 発達中度, LiC, 粘着性弱, 可塑性中~強, ち密度疎 (16 mm), 碎易性疎しょう, 半湿, 細根含む, 小根含む, 細管状孔隙あり, 活性アルミニウム反応++, 層界波状漸変

Bw1 : 32-62 cm, 黒褐 (7.5YR3/2), 亜角塊状構造 φ 1-5 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性中~強, ち密度疎 (18 mm), 碎易性極碎易, 半湿, 細根含む, 小根含む, 細管

状孔隙含む，活性アルミニウム反応+，層界波状漸変

Bw1 : 62-91 cm, 暗褐(7.5YR3/4), 亜角塊状構造 φ 1-5 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性中～強, ち密度中(22 mm), 碎易性極碎易, 半湿, 細根あり, 小根あり, 中根まれ, 細管状孔隙含む, 活性アルミニウム反応+, 層界波状漸変

2B : 92-100 cm+, 極暗褐(7.5YR2/3), 亜角塊状構造 φ 1-5 cm 発達中度, HC, 粘着性弱, 可塑性中～強, ち密度中(24 mm), 碎易性極碎易, 半湿, 細根まれ, 小根まれ, 細管状孔隙含む, 活性アルミニウム反応+

### 3-1-4 まとめ

土壌断面調査の結果，土壌断面形態から以下のことが明らかとなった。

- (1) 落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富1）の表層(0-16 cm)では，暗褐色(10YR3/3)を呈し，粒状構造(1-2 mm)が発達強度であった。Ap1 および Ap2 層で観察された粒状構造は，褐色の粒子の周囲を，暗褐色物質が被覆している特異な構造をしており，土粒子を指の腹でつぶすと，褐色の芯が残る形態であった。下層土（褐色）が芯となり、腐植が周りを覆っている構造とも考えられ，土づくりの成果と思われた。ち密度は，AB 層（30 cm～）で数値が急に大きくなっており，耕盤の存在が示唆された。
- (2) 平地林土壌（三富2）の表層(0-22 cm)では，団粒状構造(1-5 mm)の発達が強度であった。特に，A2（10-22 cm）および A3（22-38 cm）層では，それぞれ黒色(10YR2/1)および黒色(10YR1.7/1)であり，黒味を非常に強く呈していた。元々は三富1と同じく入会秣場で，同じ地形面で，同じ母材を基に，300年にわたる土地利用の違いにより，平地林と畑地とで全く異なる土壌断面となった。
- (3) 休閒地土壌（三富3）は，2015年調査時点で最低34年間，落ち葉堆肥を含む施肥なしで，除草のための耕起のみ行ってきた地点である。現場での観察では，土

壤構造は無構造ないし小粒状構造の発達弱度であった。A3層 24-35 cmで、ち密度の数値が上がっており、耕盤の形成が示唆された。

- (4) 三富1とは別の農家の落ち葉堆肥連用畑地土壌(三富4)は、三富3に隣接しているが、団粒状および小粒状構造が発達していることが現場の観察で明らかとなった。
- (5) 三富1～4と比べ、三富5および三富6は比高が約6 m低い場所に位置する。三富5は、土色、ち密度、および栽培作物等の点で、三富1と異なることが明らかとなった。
- (6) 文献調査を行ったところ、三富1～三富4と三富5～三富6との比高の違いは、単に比高が異なるのではなく、三富1～三富4の地形面(赤羽面)と、三富5～三富6の地形面(中台面)とで、形成年代から地形面が異なる(中澤・遠藤 2002)ことが判明した。形成年代の違いは地質的な相違の可能性もあり、同一の土壌生成因子による土壌について比較・検討を行う観点から、三富1～三富4を基本的に考察の対象とし、三富5～三富6は参考にとどめることとした。なお、三富5は、過去に芝の栽培を行っていた時期があるとの情報に、土壌調査後に接した。芝の出荷時には、芝と併せて表土も削剥される結果となるため、300年にわたる農の営みも削剥され、土壌に反映されていない可能性があると考えられた。

## 3-2 三富新田地域土壌の理化学性

### 3-2-1 分析方法

土壌の物理性は、乾燥密度（仮比重）、三相分布、孔隙率について、土壌環境分析法（土壌環境分析法編集委員会，1997）に基づき測定した。デジタル実容積測定装置（大起理化学工業株式会社製，DIK-1150）により実容積を測定した後に、試料の下部を水に浸して約 24 時間静置させ、毛管飽和後の試料の重量を測定した。次いで、変水位法により飽和透水係数を測定した。最後に、試料を 105℃で 24 時間乾燥させ、乾燥重量を測定し、乾燥密度（仮比重）、三相分布、孔隙率を算出した。土壌物理性の測定は 3 連で行った。

土壌の化学性は、土壌環境分析法（土壌環境分析法編集委員会，1997）に準じて分析を行った。土壌 pH の測定には、ガラス電極 pH メーター（東亜電波工業社製，HM-26S 型）を使用した。全炭素量 TC および全窒素量 TN の測定には，NC アナライザー（住化分析センター社製，SUMIGRAPH NC-22F）を用いた。陽イオン交換容量（CEC）および交換性塩基の抽出は、ショーレンベルガー法に準じ、1 M 酢酸アンモニウム溶液（pH 7.0）および 10% KCl 溶液で行い、交換性塩基量は原子吸光光度計（島津製作所製，AA6650）を用い、CEC の測定はセミマイクロ蒸留法により分析を行った。リン酸吸収係数の分析に際し、抽出試料は、紫外可視分光光度計（島津製作所製，UV-1280）で測定した。可給態リン酸量（可給態 P）は、ブレイ 2 法で分析し、抽出試料は、紫外可視分光光度計（島津製作所製，UV-1280）で測定した。

### 3-2-2 結果および考察

#### 3-2-2-1 落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富 1）と平地林土壌（三富 2）の物理性乾燥密度（仮比重）および土壌三相分布の結果を、表 3-2 に示した。

乾燥密度は、未耕地の有機質火山灰土で 0.4~0.7 Mg m<sup>-3</sup> と非常に小さい（土の理工

学性実験ガイド 1983) とされており、耕地ではない平地林土壌 (三富 2) では 0.44～0.46 Mg m<sup>-3</sup> の値を示した。その一方で、落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 1) の表層ではより大きな値を示し、特に 30～35 cm では 0.66 Mg m<sup>-3</sup> と高値であり、耕作による圧密の可能性が、固相率の上昇及び孔隙率の減少からも推測された。現場調査において、土壌硬度計の示す値が、AB 層 (30-43 cm) で 19 mm と急に大きくなったことから、営農作業に伴う農業機械の走行などによって耕作が及ぶ深さの直下に形成される硬くち密な土層である耕盤層 (plow pan) (加藤 2014) の形成が示唆された。

三相分布は、落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 1) の表層で固相 : 液相 : 気相 ≒ 2 : 3 : 5 であったが、下層では気相の割合が減少し、液相の割合が増加していた。

平地林土壌 (三富 2) においては、固相率が低く、孔隙率が高い黒ボク土の特徴が示された。

### 3-2-2-2 落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 1) と平地林土壌 (三富 2) の化学性

落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富 1) と平地林土壌 (三富 2) の化学性を表 3-3 に示した。

全炭素は、平地林土壌 (三富 2) A1 層において、90.4 g kg<sup>-1</sup> と極めて高い値を示した。下層に行くにつれて値は漸減するが、Bw2 (72-100+ cm) においても 21.4 g kg<sup>-1</sup> と高い値を示しており、表層部で形成された腐植物質が、腐朽植物根跡等を通じて下層にまで移動し富化していた。これは、三富新田の平地林においては、落ち葉堆肥調製用に落ち葉が回収されるが、その全量が須らく回収されることはなく、かつリターの分解が進んだ部分は林地に残されるのが通常であるため、これら落ち葉残渣、落ち葉分解画分、および下草等の新鮮有機物が約 300 年にわたり蓄積・富化されてきたものと考えられた。その一方で、落ち葉堆肥連用畑地 (三富 1) においては、落ち葉堆肥が継続的に施用されてきた Ap1～Ap2 (0-30 cm) 層では、36.0 g kg<sup>-1</sup> 程度の炭素量が示されたもの

の、Bw2 (70-90 cm) 層  $17.0 \text{ g kg}^{-1}$  に至るまで減少していた。落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富1) および平地林土壌 (三富2) の最表層において、炭素および窒素含量ともに約 2.5 倍の差がみられたことから、平地林においては、約 300 年にわたり継続的な有機物供給により有機物が蓄積・富化していったのに対し、耕地においては、落ち葉堆肥により有機物の供給はあったものの、冬季から春季には作物がなく裸地化するため、土壌が乾燥し、北西方向からの強風により風食 (Higuchi 1993) を強く受けたことにより、腐植の集積が平地林下に比べ、抑制的な環境であった可能性があると考えられた。

交換性カルシウムは、落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富1) と平地林土壌 (三富2) において、それぞれ  $19.9$  および  $1.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  であった。また、交換性マグネシウムは、それぞれ  $5.4$  および  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  であり、全体として、平地林下で非常に低い値となった。交換性塩基の陽イオン交換容量 (CEC) に対する割合である塩基飽和度は、落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富1) 表層 (Ap1 および Ap2) では、 $75.0-78.1\%$  であったのに対し、平地林土壌 (三富2) 表層 (A1 および A2) では、 $1.4-5.5\%$  と非常に低い値を示す結果となり、平地林由来の落ち葉堆肥として土壌養分が持ち出されている可能性があることが示唆された。しかしながら、次に述べる  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  が低く、単に溶脱している可能性もあり、落ち葉を持ち出していない林地との比較検討により、上記結論とする必要性があると考えられた。

遊離あるいは土壌に弱い力で吸着している水素イオン濃度による  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  は、平地林土壌 (三富2) では  $5.1-5.5$  であったのに対し、落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富1) では  $6.1-6.5$  と、より高い値を示した。この傾向は  $\text{pH}(\text{KCl})$  でも同様であった。また、交換性アルミニウムに由来する水素イオン濃度が加味される  $\text{pH}(\text{KCl})$  は、平地林下においては表層部で低く、下層で高くなる傾向がみられた。

ブレイ 2 法による可給態リン酸は、落ち葉堆肥連用畑地土壌 (三富1) では、落ち葉堆肥施用による表層への富化がみられ、平地林土壌 (三富2) に比べ多量のリンが表層

に存在していることが明らかとなった。下層位における値は小さく、リンは土壌と強固な結合をするため下層へほとんど移動していないことが示唆された。平地林土壌（三富2）においては、最大で  $63 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$  であり、全体的に低い値であった。

黒ボク土は活性アルミニウムの含量が高いためリンの特異吸着量が多く、その指数であるリン酸吸収係数は、全層的に落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富1）および平地林土壌（三富2）において、2100を超える高い値を示した。下層においてもリン酸吸収係数は1500を超えており、全層にわたり「黒ボク特徴」（今矢，2018）を示した。これは、現地調査時に、活性アルミニウム反応+++であったことと整合する。

### 3-2-2-3 休閒地土壌（三富3）と落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富4）との比較

休閒地土壌（三富3）および三富3に隣接する落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富4）の物理性を表3-4に、化学性を表3-5に示した。

休閒地土壌（三富3）および落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富4）表層において、三相分布は固相：液相：気相  $\approx 2 : 3 : 5$  であったが、落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富4）下層では気相の割合が減少し、液相の割合が増加していた点で、落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富1）と同様の傾向がみられたが、休閒地（三富3）の下層では、気相率の増加が顕著であり乾燥していることが推定された。孔隙率はおおむね80%程度であり、三富1と同様な傾向であった。

休閒地土壌（三富3）と落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富4）との化学性を比較する際に、三富4では落ち葉堆肥を施用してきているが、三富3では年2回の除草のための雑草鋤き込みのみであることから、全炭素量は一定の違いが出ると考えていたが、大きな違いがみられなかった。休閒地に鋤き込む雑草の背丈をヒアリングしたところ、年2回しか鋤き込まないため、数cmではなく、50~60 cmを超える背丈の雑草を鋤き込むことになるとのことであり、除草のための鋤き込みにより、緑肥を施用しているのと同様な

効果が得られていると考えられた。

落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富4）では、落ち葉堆肥調製時に、バーク他代々伝統の資材を添加しているとのことであり、休閑地土壌（三富3）のA層では、塩基飽和度 45.3-49.3（%），可給態リン酸 252-322 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup>であったが、落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富4）のA層では、塩基飽和度 53.9-57.6（%），可給態リン酸 427-436 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup>であり、落ち葉堆肥連用により土壌養分の増加が明らかとなった。

### 3-3 団粒分析（耐水性団粒）

#### 3-3-1 分析方法

団粒分析は、大きさや量、安定性を知ることによって土壌構造の良否を判定するのに用いられる。ここでは広く用いられている Yoder 法に準拠した湿式篩別法（土壌環境分析法編集委員会，1997）に基づき測定した。湿式篩別法で団粒に加えられる力は、水和作用と水中での動揺である。団粒を水に浸漬すると、団粒と団粒の間隙の水膜に由来する凝集力が失われ、また団粒をルーズに結び付けている物質のいくつかは結合力を弱め、変形や崩壊を起こしやすくなったところに、水中でのふるいの上下動が加わると、その力より弱い結合力でつながっている粒子が崩落し、粒径に応じて各階級の孔径を持つふるいに残る（土壌環境分析法編集委員会，1997）。

一定量(10-25 g)の風乾試料を量り取り、試料重を測定する。量り取った試料は、30分おきに霧吹きを用いて噴霧湿潤させ、団粒表面に水が浮く程度まで湿らせた。スレーキング（沸化現象）を起こさないよう留意し湿潤させた試料をビーカーに移し、湛水させて、一晚（半日程度）静置した。

湿式篩装置の準備し、水を満たした水槽の中で、組ふるい（2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.1 mm）を組み立てた。ふるいの中に気泡が残らないよう、水中で目の細かいふるいから順に空気を追い出しながら組み立て、最後に吊り金具で固定した。最上位置のふるいの網が 5cm 程度湛水するような水位とし、ふるいを激しくゆすって、残っている空気を追い出した。

ビーカー内で湛水、静置しておいた試料を、できるだけ薄く均等に、篩の上に広げ、ビーカーに残った分も、噴射びんでふるい上に落とした。湿式篩装置にて、振幅 4 cm 程度、30 回/分で 5 分間、水中篩別を行った。終了後、組ふるいを水槽から取り出し、上のふるいから順に、各ふるいに残った団粒を、小バットに全て移した。蒸発皿に団粒を全て移し、105℃、24 時間炉乾させた。室温まで冷却し、得られた耐水性団粒を秤量

した。

### 3-3-2 結果および考察

こうして得られた粒径別耐水性団粒の重量分布割合を図 3-14 に示した。

平地林土壌（三富 2）では、2.0 mm 以上画分が多く、三富 1 の約 2 倍を占めていた。団粒が集合してさらに大きな団粒を構成すると、こうしたサイズの大きい団粒は動きにくく、地表水や風による侵食耐性が高くなると考えられることから、三富 2 においては風食耐性が高いと考えられた。

三富 1 においては、0.1 mm 以下画分の増加は、耕耘による擾乱および風食等により団粒が破壊され細粒化していると考えられた。0.1 mm 以下画分は、空中に浮遊する画分（Wagner, 2013）であり、また三富 1 および三富 2 は地形的に風食の最前線に位置していることから、浮遊画分が沈下している側面もあると考えられる。

土壌団粒は階層構造をとっており、微小なマイクロ団粒と粗大なマクロ団粒からなる（青山, 2010）。マイクロ団粒は 250  $\mu\text{m}$  よりも小さな団粒とされ、粘土粒子同士の凝集体、粘土粒子に取り囲まれた細菌や粘土・腐植複合体といった 20  $\mu\text{m}$  以下の大きさの粒子が基本単位となり、これらと微小な植物破片とが、主に微生物が作り出す粘物質によって結合されていると考えられている（青山, 2010）。その一方で、250  $\mu\text{m}$  より大きなマクロ団粒は、マイクロ団粒と植物遺体の断片が、糸状菌菌糸と植物根によって絡み合わされることによって形成され、マクロ団粒内での有機物分解に伴ってマイクロ団粒の形成も起る動的な存在とされている（青山, 2010）。ここで、耐水性団粒の粒径分布を、マイクロ／マクロ団粒の粒径画分別に表したのが、表 3-6 である。

生物活動の活発な平地林（三富 2）では、2.0 mm 以上の粗大な画分が最も多いが、地形的に三富 1 と同じく風食の最前線に位置しており、0.1 mm 以下の浮遊画分由来粒子も多く、三富 1 および三富 2 における耐水性団粒中のマクロ団粒割合は 52～56%であっ

た（表 3-6 および図 3-14）.

休閑地（三富 3）では、2.0 mm 以上の粗大な画分は最も少なくなっていたが、耐水性団粒の粒径別分布の傾向は、隣接する位置関係にある三富 3 および三富 4 とで類似していた。風食の最前線からより離れた位置にあり、耐水性団粒中のマクロ団粒割合も 63～65%と似た値を示した（表 3-6 および図 3-14）.

これまで数々の風食の予測・評価モデルが開発されてきたが、1990 年代に米国農務省において開発された WEPS（Wind Erosion Prediction System）は、風食や風食に対する要因を解析できるモデル（Wanger, 2013）とされ、Wanger（2013）による知見を用いて、三富新田における風食について第 5 章で総合的に考察する。

### 3-4 三富新田地域土壌の生物性

#### 3-4-1 土壌酵素 ( $\beta$ グルコシダーゼ, プロテアーゼ)

##### 3-4-1-1 分析方法

地球上でもっとも豊富に存在する炭水化物であるセルロースは、最終的に  $\beta$  グルコシダーゼによりグルコースが生成され、土壌中においては微生物に対するエネルギー源になりうる (大村・早野, 1982). また、土壌中に施用されたタンパク質成分 (有機態窒素) は、プロテアーゼによりアミノ酸が生成され微生物に利用される (山縣ら, 1997).

三富 1, 三富 2 および三富 3 の最表層及び次表層より、生の土壌試料を同一の層位の 3 箇所から採取した後に、2 mm の篩に通し、冷蔵庫 (4°C) に保管した試料を 3 日以内に測定に使用した。また、三富 1 で施用されている落ち葉堆肥についても、3 箇所から採取した後に、2mm の篩に通し、冷蔵庫 (4°C) に保管した試料を 3 日以内に測定に使用した。

$\beta$ -グルコシダーゼ活性は、土壌環境分析法 (土壌環境分析法編集委員会, 1997) に準じて分析を行った。土壌 (未風乾) 試料 0.5 g をとり、50 mM p-ニトロフェノール- $\beta$ -グルコシド (PNG) を基質として用い、30 °C で 1 時間反応させた。基質と酵素の反応 1 時間後の抽出液は、紫外可視分光光度計 (島津製作所製, UV-1280) で波長 400 nm で測定した。検量線は、1 mM p-ニトロフェノール溶液で調製した。土壌サンプルおよび基質を加えた試料を①、基質の代わりに水を加えたコントロールを②、土壌を加えないコントロールを③とし、これらのコントロールの測定値を差し引いた  $\Delta A_{400nm} \{① - (② + ③)\}$  を検量線に挿入して酵素反応によって遊離した p-ニトロフェノール量を定量した。また遊離した p-ニトロフェノール量の値を用い、 $\beta$ -グルコシダーゼ活性を算出した。

プロテアーゼ活性についても、土壌環境分析法 (土壌環境分析法編集委員会, 1997)

に準じて分析を行った。試料は同じく、2 mm の篩に通した未風乾土壌試料を使用した。基質は 2 mM ベンジルオキシカルボニル-フェニルアラニル-ロイシン (ZFL) を用い、40 °C で 1 時間反応させた。反応終了後、上澄み 2 ml にニンヒドリン試薬 (2 g のニンヒドリンと 0.3 g のヒドリンダンチンを 75 ml のメチルセロソルブに溶かした。また 4 M 酢酸緩衝液 pH 5.51 を調整し、使用直前に前者：後者=3：1 の割合で混合した。) を 1.0 ml 加え、沸騰浴水中で 15 分間加熱した。検量線は、0.1 mM L-ロイシン溶液で調製し、試料と同様にニンヒドリン試薬を加えて加熱した。加熱終了後、氷水中で冷却し、エタノール：蒸留水=1：1 (v/v) 溶液を 3 ml 入れて十分に混合した後、紫外可視分光光度計 (島津製作所製、UV-1280) で  $A_{570\text{nm}}$  を測光した。コントロールを差し引いた  $\Delta A_{570\text{nm}}$  で検量線を作成してアミノ酸量を定量し、プロテアーゼ活性を算出した。生物性の分析は、各分析項目で 3 連で行った。

### 3-4-1-2 結果及び考察

$\beta$ -グルコシダーゼ活性は、有機質残渣や緑肥を投入した圃場において高い値となることが明らか (Bandick and Dick, 1999) とされ、土壌酵素の基質となる有機物の炭素量に依存している (Eivazi and Tabatabai, 1990) と考えられている。平地林土壌 (三富 2) の A1 層では炭素量の高さを反映し、 $\beta$ -グルコシダーゼ活性値も  $3.484 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  と高値となった (表 3-7)。次表層においても、 $0.995 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  を示し、畑地である三富 1 および休耕地である三富 3 最表層よりも高い値であった。三富 1 に施用している落ち葉堆肥の  $\beta$ -グルコシダーゼ活性値は  $2.541 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  であり、生物活性が高い林地最表層について高い活性が確認された。落ち葉堆肥連用圃場 (三富 1) では、作物苗の定植前にロータリティラーで約 30 cm の耕起を行っており、 $0.268 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  を示した最表層の植物残渣が攪乱された結果、次表層 (16-30 cm) では  $0.357 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  を示し酵素活性値も高くなった可能性が考えられた。休耕地 (三富 3) に

において、無施肥であるにもかかわらず最表層で  $0.287 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 、次表層で  $0.269 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  と、三富 1 と同様な酵素活性値が測定されたことは、年 2 回の雑草鋤き込みにより一定の有機物が投入されていることを反映したものと考えられた。なお、落ち葉堆肥連用畑地（三富 1）と、休閑地（三富 3）とを比較した時に、三富 1 の方が若干ではあるが低値となっているのは、本サンプリング直前に改めて農事の確認を行った際に、クロルピクリンを有効成分とする土壤消毒の実施が確認された影響が示唆された。

プロテアーゼ活性は、三富 1 最表層で  $0.040 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 、次表層で  $0.049 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 、三富 2 ではそれぞれ  $0.233 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 、 $0.079 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 、三富 3 ではそれぞれ  $0.024 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 、 $0.028 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 、であり、概ね  $\beta$ -グルコシダーゼ活性値と同様の傾向を示した。三富 1 に施用している落ち葉堆肥のプロテアーゼ活性値は、 $0.404 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  と、三富 2 最表層よりも高い値を示した。これは、堆肥作成過程において肥効を高めるため、米ぬかを添加している影響が考えられた。

三富 1（落ち葉堆肥連用畑地）では、約 300 年間の落ち葉堆肥連用効果が反映され土壤酵素活性値が大きいと予想していた。しかしながら、ほぼ自然林下土壤である三富 2（平地林）での値が高く、予想に反して三富 1 と三富 3（休閑地）の分析値が、ほとんど変わらない結果となった。土壤酵素からの生物性の検討のみならず、より直接的に土壤中に存在する微生物群集の多様性とその度合いを評価する指標として、土壤微生物多様性・活性値を次節で検討した。

### 3-4-2 土壤微生物多様性・活性値

#### 3-4-2-1 分析方法

「土壤微生物多様性・活性値」は、土壤中に生息する微生物群集の有機物分解能力の多様性と高さを数値化したものである（櫻本 2013）。横山（1996）他が開発した土壤微生物多様性指数を応用し、測定が難しかった土壤の生物性を科学的・客観的に評価す

る方法で、2010年に有限会社ディージーシー総合研究所で実用化されてからは、農業生産者、農業関連研究機関、堆肥メーカー、農業資材メーカー、食品メーカーなど多方面で利用されている。土壌微生物多様性・活性値は、日本における土壌の微生物診断に関する指標として、SOFIX（土壌肥沃度指標）とならび用いられている（農山漁村文化協会 2020）。

分析方法の概要（櫻本 2013）は、採取した土壌試料 20 g を、滅菌済リン酸緩衝液 180 ml に入れ、16 時間振とうさせ、土壌懸濁液を作成する。この懸濁液 1 ml を採取し、滅菌済リン酸緩衝液 99 mL に入れ、希釈された懸濁液を Biolog 社製の GN2 プレート 2 枚にそれぞれ分注する。GN2 プレートは、好気性微生物を同定するためのプレートで、96 のウェルのうち、一つはコントロールウェルで何も有機物が入っておらず、残りの 95 のウェルには、デキストリン他 95 の異なる有機物が入っている。全てのウェルには、CO<sub>2</sub> に反応して着色する試薬が入っており、分注された土壌懸濁希釈液内の微生物が各ウェルの有機物を分解することで、発生した CO<sub>2</sub> に反応して試薬が着色し、色の濃さによって有機物分解度合いを、Omnilog システムにより判定する。

土壌微生物多様性・活性値は、一定環境下で土壌微生物により 95 種類の有機物がどれだけ分解できたか（多様性）と、各有機物が分解される速度が速いか（活性）の総合評価で、値が高いほど土壌の生物性が高いと評価される。分析を取扱っている株式会社 DGC テクノロジー社提供の土壌微生物多様性・活性値の目安を表 3-8 に示した。

本研究では、土壌酵素分析用試料サンプリングと同一日に、落ち葉堆肥連用畑地（三富 1）、平地林（三富 2）および休閑地（三富 3）の 3 地点の最表層より土壌を採取し、現在、当分析を取扱っている株式会社 DGC テクノロジー社指定の専用サンプル袋に密閉の上、即日送付し、分析を依頼した。

### 3-4-2-2 結果及び考察

土壤微生物多様性・活性値の分析結果は、表 3-9 に示した。

三富 2 (平地林) 1,391,578 ≧ 三富 3 (休閑地) 586,380 > 三富 1 (落ち葉堆肥連用畑地) 425,205 であった。三富 2 は数値が 130 万を超え、大変豊かな土壤とされたが、三富 1 は、平均的な土壤とされる 50 万~70 万を下回る結果となった。三富 3 よりも値が低くなったが、これは、サンプリングに先立つ農事ヒアリングにおいて、クロルピクリン有効成分とする土壤消毒を実施していることが明らかとなったことも反映された結果と考えられた。

当該分析に際し、サンプリングは 2020 年 8 月 29 日に実施した。これは、作物栽培中の畑地であり、また農家のご都合もあり、諸事情を勘案しての採土日であった。サンプリング日は、朝から 30 °C 超えの猛暑の日で (図 3-15)、2020 年は 8 月に入ってから降雨がほとんどなく土壤が乾燥していた (図 3-16)。気温データは地表面の温度でないことを考えると、土壤表層の温度はより高かった可能性があり、土壤微生物群集にとって過酷な環境下でのサンプリングであった可能性がある。翻って、酷暑乾燥環境下において、畑地でも一定の土壤微生物に関する活性が示されたと言えるが、平地林下では、高い土壤微生物多様性・活性値が示され、林地における生物活性の高さが明らかとなった。

土壤生物多様性を高く維持する土地管理 (例えば有機栽培) は、土壤に起因する病原菌や害虫発生を抑えて食料生産を支えるとともに、土壤に由来する作物や人に影響のある病原菌の発生をも抑制するとされている (Wall et al., 2015)。古くより三富新田で行われてきた落ち葉堆肥を活用した農法において、肥沃性の発現のみならず、土壤微生物多様性を高く維持する効果を、暗黙裡に期待してきた可能性がある。しかしながら、土壤微生物多様性・活性は、短期的な変動が反映されやすい面があり、落ち葉堆肥連用効果の検討には、より長期的な効果が反映される実験項目が必要であると考えられ、土壤微細形態学的研究を行うこととした。

### 3-5 まとめ

- (1) 三富1～三富6の6か所の土壌調査を行った。三富1～三富4と三富5～三富6との比高の違いは、単に比高が異なるのではなく、三富1～三富4の地形面（赤羽面）と、三富5～三富6の地形面（中台面）とで、形成年代から地形面が異なる（中澤・遠藤 2002）ことが判明したため、同一の土壌生成因子による土壌について比較・検討を行う観点から、三富1～三富4を基本的に考察の対象とすることとした。
- (2) 乾燥密度は、三富2では0.44～0.46 Mg m<sup>-3</sup>と、上層と下層とであまり変わらなかったが、三富1では0-5 cm で0.55, 30-35 cm で0.66, 45-50 cm では0.48となっており値の違いがみられた。30-35 cmにおける値の増加は、固相率の増加、気相率の減少と併せて、耕盤の形成が示唆された。
- (3) 全炭素値から、平地林においては、約300年にわたり継続的な有機物供給により有機物が蓄積・富化していったのに対し、耕地においては、落ち葉堆肥により有機物の供給はあったものの、冬季から春季には作物がなく裸地化するため、土壌が乾燥し、北西方向からの強風により風食を強く受けたことにより、腐植の集積が平地林下に比べ、抑制的な環境であった可能性があると考えられた。
- (4) 遊離あるいは土壌に弱い力で吸着している水素イオン濃度によるpH(H<sub>2</sub>O)は、三富2では5.1-5.5であったのに対し、三富1では6.1-6.5と、より高い値を示した。この傾向はpH(KCl)でも同様であった。
- (5) 交換性カルシウムは、三富1と三富2において、それぞれ19.9 および 1.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>であった。また、交換性マグネシウムは、それぞれ5.4 および 0.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>であり、全体として、平地林下で非常に低い値となった。塩基飽和度も、三富1表層に比べ、三富2表層では非常に低い値を示す結果となり、平地林由来の

落ち葉堆肥として土壤養分が持ち出されていることが示唆された。

- (6) 可給態リン酸は、落ち葉堆肥連用畑地土壤（三富1）では、落ち葉堆肥施用による表層への富化がみられ、平地林土壤（三富2）に比べ多量のリンが表層に存在していることが明らかとなった。下層位にまで富化がみられず、リンは土壤と強固な結合をするため下層へほとんど移動していないことが示唆された。
- (7) 耐水性団粒は、平地林土壤（三富2）では、2.0 mm以上画分が多く、三富1の約2倍を占めており風食耐性が高いと考えられた。生物活動の活発な平地林（三富2）では、2.0 mm以上の粗大な画分が最も多いが、カテナ的に三富1と同じく風食の最前線に位置しており、0.1 mm以下の浮遊画分由来粒子も多く、三富1および三富2における耐水性団粒中のマクロ団粒割合は52~56%であった。休耕地（三富3）では、2.0 mm以上の粗大な画分は最も少なくなっていたが、耐水性団粒の粒径別分布の傾向は、隣接する位置関係にある三富3および三富4と類似していた。風食の最前線からより離れた位置にあり、耐水性団粒中のマクロ団粒割合も63~65%と似た値を示した。
- (8) 土壤酵素 $\beta$ -グルコシダーゼは、平地林（三富2）最表層において $3.484 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ と高い値を示した。次表層においても、 $0.995 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ を示し、畑地である三富1および休耕地である三富3の最表層よりも高い値となり、林地の土壤酵素活性が高かった。プロテアーゼも同様な傾向を示した。三富1に施用している落ち葉堆肥のプロテアーゼ活性値は、 $0.404 \mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ と、三富2最表層よりも高い値を示した。これは、堆肥作成過程において肥効を高めるため米ぬかを添加している影響が考えられた。
- (9) 土壤微生物多様性・活性値分析結果は、三富2（平地林） $1,391,578 \gg$ 三富3（休耕地） $586,380 >$ 三富1（落ち葉堆肥連用畑地） $425,205$ であった。平地林

下では，高い土壤微生物多様性・活性値が示され，林地における生物活性の高さが明らかとなった．



図 3-1 土壌調査地点 図中の①～⑥は、それぞれ三富1～三富6を表す。図中のスケールは距離(m)を示す。方位は上が北である。当図は、国土地理院2万5千分の1地形図を活用したカシミール3Dによる。(Map source ; <http://www.kashmir3d.com/>)

表3-1 調査地点の概要

	地形面 <sup>†</sup>	標高	土地利用	栽培作物	落ち葉堆肥施用	備考
三富1	赤羽面	46 m	畑地	サツマイモ	あり	約300年にわたり落ち葉堆肥施用と伝承。元禄年間より続く農家。
三富2	赤羽面	49 m	平地林	(林地)	—	主要樹種:コナラ。 落ち葉は落ち葉堆肥として三富1に施用。
三富3	赤羽面	46 m	休閑地	なし	なし	最低34年間(2015年調査時点)施肥なし。 除草のための耕起のみ。
三富4	赤羽面	46 m	畑地	サツマイモ	あり	約300年にわたり落ち葉堆肥施用と伝承。元禄年間より続く農家。
三富5	中台面	40 m	畑地	サトイモ/ニンジン等輪作	あり	約300年にわたり落ち葉堆肥施用と伝承。元禄年間より続く農家。
三富6	中台面	40 m	平地林	(林地)	—	主要樹種:コナラ。 落ち葉は落ち葉堆肥として三富5に施用。

<sup>†</sup>地形面は中澤・遠藤(2002)による。



図 3-2 土壌調査地点の画像（三富1）



図 3-3 土壌調査断面（三富1）

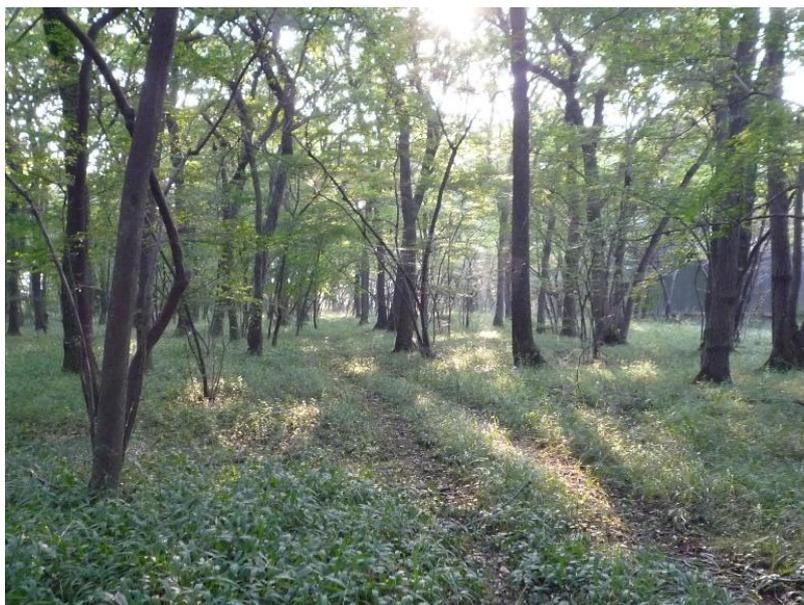


図 3-4 土壌調査地点の画像（三富2）



図 3-5 土壌調査断面（三富2）



図 3-6 土壌調査地点の画像（三富 3）



図 3-7 土壌調査断面（三富 3）



図 3-8 土壌調査地点の画像（三富 4）



図 3-9 土壌調査断面（三富 4）



図 3-10 土壌調査地点の画像（三富 5）



図 3-11 土壌調査断面（三富 5）

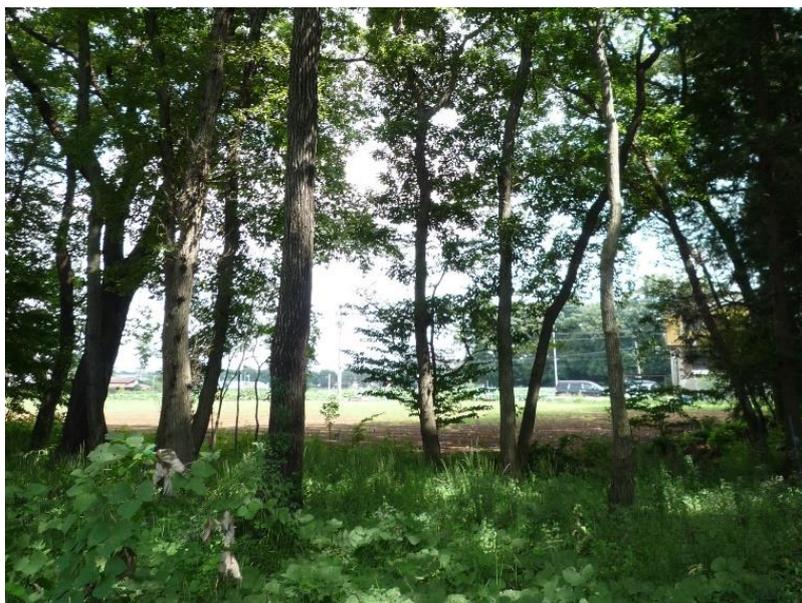


図 3-12 土壌調査地点の画像（三富6）



図 3-13 土壌調査断面（三富6）

表 3-2 落ち葉堆肥連用土壌(三富1)および平地林土壌(三富2)の土壌物理性

	深さ (cm)	乾燥密度 (Mg m <sup>-3</sup> )	土壌三相 (%)			孔隙率 (%)
			固相	液相	気相	
落ち葉堆肥 連用土壌 (三富1)	0-5	0.55	18.4	28.9	52.7	81.6
	30-35	0.66	22.7	46.3	31.0	77.3
	45-50	0.48	15.7	54.7	29.6	84.3
平地林土壌 (三富2)	0-5	0.44	16.5	32.8	50.7	83.5
	30-35	0.46	15.7	38.6	45.7	84.3
	45-50	0.46	14.1	46.0	39.9	85.9

表3-3 落ち葉堆肥連用土壌(三富1)および平地林土壌(三富2)の土壌化学性

層位	深さ (cm)	全炭素 (g kg <sup>-1</sup> )		C/N	pH		CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			交換性陽イオン (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			塩基飽和度 (%)	可給態リン (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	リン酸吸収係数 (mg 100g <sup>-1</sup> )
		全炭素	全窒素		H <sub>2</sub> O	KCl	Ca	Mg	K	Na					
落ち葉堆肥 連用土壌 (三富1)	Ap1	0-16	36.0	3.0	12.1	6.4	5.8	34.6	19.9	5.4	0.7	0.1	75.0	441	2191
	Ap2	16-30	35.9	3.0	12.0	6.2	5.7	33.0	19.8	5.4	0.4	0.1	78.1	386	2233
	AB	30-43	28.5	2.2	12.9	6.1	5.7	27.5	15.5	4.1	0.1	0.1	71.9	105	2429
	Bw1	43-70	18.2	1.4	13.5	6.4	5.7	29.1	7.1	1.5	0.1	0.1	30.1	8	2490
	Bw2	70-90	17.0	1.3	13.2	6.4	5.8	22.3	7.8	1.5	0.2	0.1	43.1	6	2502
	2B	90-100+	27.1	1.8	14.7	6.5	5.8	33.6	10.3	1.3	0.3	0.1	35.5	7	2532
平地林土壌 (三富2)	Ole	+1-0													
	A1	0-10	90.4	7.4	12.3	5.1	4.3	38.5	1.1	0.5	0.4	0.1	5.5	63	2356
	A2	10-22	60.7	3.9	15.7	5.0	4.5	43.0	0.2	0.1	0.1	0.1	1.4	27	2468
	A3	22-38	62.6	4.0	15.7	5.2	4.6	27.2	0.8	0.3	0.1	0.1	4.6	15	2479
	A4	38-50	48.3	3.3	14.5	5.4	4.8	28.9	0.9	0.6	0.1	0.1	6.2	6	2497
	Bw1	50-72	33.3	2.5	13.4	5.5	5.1	22.0	0.6	0.5	0.1	0.1	5.1	3	2400
	Bw2	72-100+	21.4	1.9	11.2	5.5	5.1	28.9	0.6	0.5	0.1	0.1	4.1	3	2415

表 3-4 休閑地土壤(三富3)および落ち葉堆肥連用土壤(三富4)の土壤物理性

	深さ (cm)	乾燥密度 (Mg m <sup>-3</sup> )	土壤三相 (%)			孔隙率 (%)
			固相	液相	気相	
休閑地土壤 (三富3)	0-5	0.60	19.7	27.7	52.6	80.3
	30-35	0.66	22.3	36.8	40.9	77.7
	45-50	0.51	14.7	38.6	46.7	85.3
落ち葉堆肥連 用土壤 (三富4)	0-5	0.62	20.3	30.8	48.9	79.7
	30-35	0.74	25.7	44.3	30.0	74.3
	45-50	0.51	16.2	55.4	28.4	83.8

表3-5 休閑地土壌(三富3)および落ち葉堆肥連用土壌(三富4)の土壌化学性

層位	深さ (cm)	全炭素 (g kg <sup>-1</sup> )		C/N	pH		CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			交換性陽イオン (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			塩基飽和度 (%)	可給態リン (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	リン酸吸収係数 (mg 100g <sup>-1</sup> )
		全炭素	全窒素		H <sub>2</sub> O	KCl	Ca	Mg	K	Na					
休閑地土壌 (三富3)															
Ap1	0-11	39.2	3.3	12.0	6.3	5.2	29.6	11.5	1.3	0.6	0.1	45.3	252	2109	
Ap2	11-24	39.7	3.3	12.1	6.3	5.2	30.0	12.0	1.3	0.6	0.1	46.5	260	2102	
A3	24-35	36.3	3.0	11.9	6.1	5.3	29.2	11.6	1.7	1.0	0.1	49.3	322	2115	
AB	35-71	31.0	2.5	12.6	6.1	5.3	25.9	11.0	1.2	0.5	0.1	49.0	143	2413	
Bw1	71-85	15.4	1.3	11.7	6.2	5.6	20.7	7.3	0.8	0.5	0.1	41.8	5	2507	
Bw2	85-110+	19.4	1.5	13.4	6.4	5.8	20.9	7.5	0.8	0.4	0.0	42.1	5	2483	
落ち葉堆肥連用土壌 (三富4)															
Ap1	0-13	39.5	3.4	11.6	5.8	5.1	29.0	14.6	1.5	0.4	0.1	57.1	437	2117	
Ap2	13-22	41.6	3.5	12.0	5.9	5.2	29.6	14.1	1.5	0.3	0.1	53.9	427	2104	
A3	22-35	40.0	3.3	12.0	5.8	5.2	28.4	14.2	1.6	0.4	0.1	57.6	436	2106	
AB	35-60	30.2	2.4	12.4	6.0	5.3	35.6	8.4	1.3	0.1	0.1	27.7	70	2243	
Bw1	60-73	16.0	1.4	11.4	6.0	5.6	40.3	7.3	1.3	0.1	0.1	22.0	13	2496	
Bw2	73-100+	17.0	1.3	13.6	6.2	5.8	30.8	7.3	1.2	0.1	0.1	28.1	6	2496	

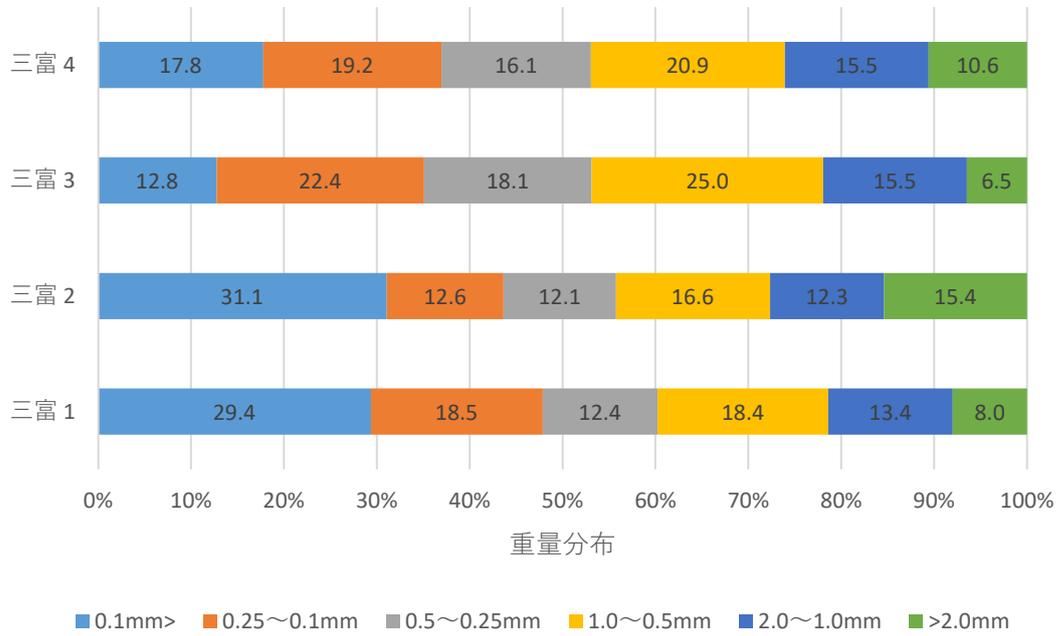


図 3-14 耐水性団粒の粒径別組成

表 3-6 耐水性団粒中のマクロ・マイクロ団粒割合 (%)

マイクロ/マクロ 団粒別	三富1	三富2	三富3	三富4
マイクロ団粒 ( $250\mu\text{m}$ > )	47.9	43.7	35.1	37.0
マクロ団粒 ( $>250\mu\text{m}$ )	52.2	56.4	65.0	63.1

表 3-7 土壌酵素活性

調査地点	層位	$\beta$ グルコンダーゼ ( $\mu\text{ mol h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ )	プロテアーゼ ( $\mu\text{ mol h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ )
三富1 (落ち葉堆肥連用畑地)	Ap1(0-16cm)	0.268	0.040
	Ap2(16-30cm)	0.357	0.049
三富2 (平地林)	A1(0-10cm)	3.484	0.233
	A2(10-22cm)	0.995	0.079
三富3 (休閑地)	Ap1(0-11cm)	0.287	0.024
	Ap2(11-24cm)	0.269	0.028
落ち葉堆肥(三富1 施用)	—	2.541	0.404

表3-8 土壌微生物多様性・活性値の目安 (株式会社DGCテクノロジー社提供)

土壌微生物多様性・活性値	目安
100,000以下	微生物がほとんどいない.
100,000 - 300,000	土壌消毒を続けている土壌.
300,000 - 500,000	農薬・化学肥料が過剰な土壌.
500,000 - 700,000	ごく平均的な土壌.
700,000 - 1,000,000	土作りが比較的うまくいっている土壌.
1,000,000 - 1,300,000	豊かな土壌.
1,300,000 - 1,500,000	大変豊かな土壌.
1,500,000 - 2,000,000	極めて豊かな土壌.

表3-9 三富新田における土壌微生物多様性・活性値

土壌微生物多様性・活性値	
三富 1	425,205
三富 2	1,391,578
三富 3	586,380

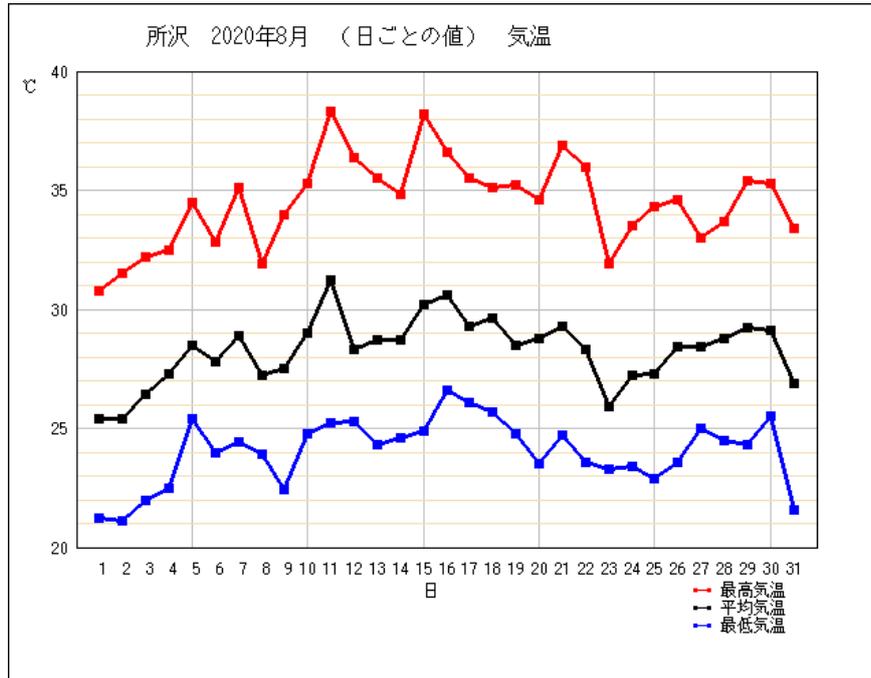


図 3-15 2020 年 8 月の所沢における気温（気象庁 HP データより転載；  
[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_a1.php?prec\\_no=43&block\\_no=1070&year=2020&month=08&day=&view=g\\_tem](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=43&block_no=1070&year=2020&month=08&day=&view=g_tem)）（参照 2021-3-10）

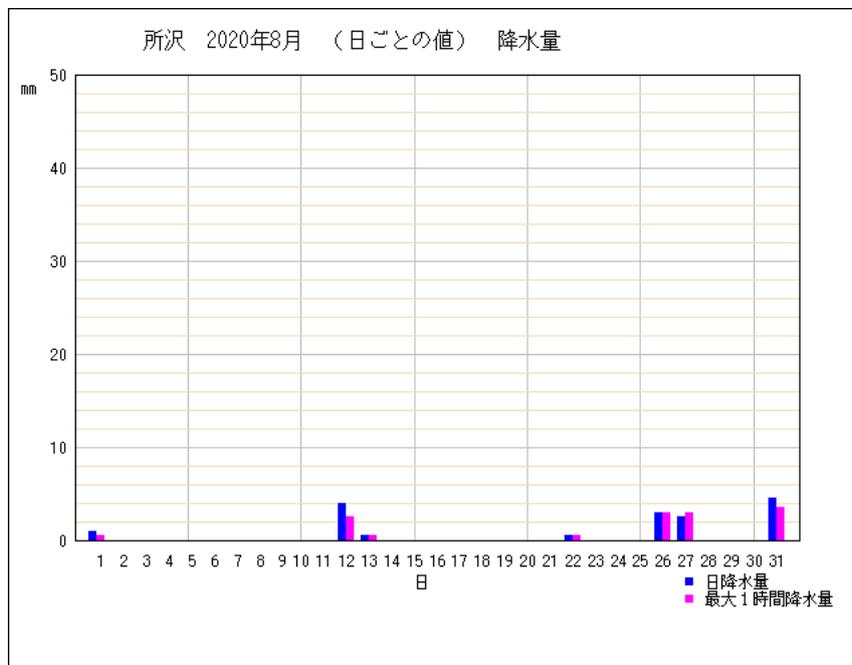


図 3-16 2020 年 8 月の所沢における降水量（気象庁 HP データより転載；  
[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_a1.php?prec\\_no=43&block\\_no=1070&year=2020&month=08&day=&view=g\\_pre](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=43&block_no=1070&year=2020&month=08&day=&view=g_pre)）（参照 2021-3-10）

## 第4章 三富新田地域土壌の微細形態学的特徴

### 4-1 はじめに

土壌微細形態学は、土壌そのものの微細な形態を観察することができ、石英粒子のレベル、より高次の構造配列のレベル、又はある過程によって生じたフィーチャーのレベルなど、あらゆるレベルでの土壌の特徴について詳細に研究できる(Bullock et al., 1985)。また、多くの異なった土壌生成過程が一つの土壌型の生成にかかわるのが普通であり、土壌型は一般にこれらの過程のバランスを反映している(Bullock et al., 1985)ことから、土壌の微細形態は、すべての土壌分野における統合ツールとして機能し、土壌微細形態学的アプローチは、長期的な影響を調べる上で重要であると考えられてきた(Blum 2008)。

本研究において、土壌微細形態学的アプローチは、人為および時間因子を含む土壌生成過程を経た土壌の微細形態を観察でき、長期的な影響を考察するため重要な視点と考えられた。

本章では、1696年に開発され、300年以上にわたって平地林由来の落ち葉堆肥を施用し、耕作されてきた畑地と平地林の土壌微細形態学的特徴について考察した。

### 4-2 分析方法

#### 4-2-1 土壌薄片の作成およびその記載

土壌薄片は、100 ml容のステンレス製コアサンプラーに採取された不攪乱土壌を用いて、永塚・田村(1986)の方法に従い作成した。不攪乱土壌は、0-5 cm, 30-35 cm, 45-50 cmの層位から採取した。不攪乱土壌試料は、液体窒素を充填し、真空状態で凍結乾燥させた。凍結乾燥後、ポリエステル樹脂(マルトー製;硬組織標本包埋樹脂A液:B液=8:2に混合して使用。)に、過酸化ベンゾイル(マルトー製;硬組織標本包埋用

固化剤．樹脂 1,000 ml に対し 10 ml 添加．) を加え，攪拌し調製した樹脂を，不攪乱土壌試料に脱気しながら含浸させ，数か月放置し固化させた．完全に固化した試料は，硬脆材料切断機（マルトー製ニューベンチソー MC-32）を用いて 5 cm 程度の厚さに切断された（一時切断）．切断試料のスライドガラスに接着する面は，研磨剤（マルトー製；C3000）を用いて手研磨された後に，エポキシ系接着剤にてスライドガラス（5 cm × 5 cm）に接着させた．固化後に，1-2 mm 程度に二次切断を行い，研磨剤（マルトー製；C3000 に次いで C400）を用いて，検鏡可能な薄さまで鏡面レベルに手研磨した．超音波洗浄機で研磨剤を洗い落とし，土壌薄片検鏡試料とした．

土壌薄片試料の記載は，土壌薄片記載ハンドブック（Bullock et al. 1985）に準じて行った．検鏡は，偏光顕微鏡（オリンパス製；BH-2）を使用した．粗粒質画分と細粒質画分の境界（c/f 境界）はすべて 10  $\mu\text{m}$  とし，c/f 境界および孔隙量は，平行ニコル下で検鏡した．

#### 4-2-2 土壌薄片の画像解析およびフラクタル次元

土壌薄片検鏡カラー画像は、米国国立衛生研究所オープンソースの画像解析ソフトウェア ImageJ を使用して二値化画像に変換し，孔隙面積割合を算出した．

土壌薄片写真による画像解析により，土壌構造の複雑さを示す指標であるフラクタル次元を求めることが可能である（Dathe et al. 2001；Papadopoulos et al. 2008；田村ら 1993）．本研究では，農研機構畜産研究部門（(旧) 畜産草地研究所）フラクタル解析システム fractal 3（佐々木ら 1998）を用いて孔隙のフラクタル次元を解析した．

フラクタルは，特徴的な長さをもたないような図形や構造，現象などの総称で，フラクタルを定量的に表す方法として，フラクタル次元が用いられる（高安 1986）．フラクタル次元とは，非整数値をとりうる次元のことをまとめていうとされ，わかりやすくかつフラクタルと密接な関係があるのが相似性次元である．相似性次元とは，ある図形が，

全体を  $1/a$  に縮小した相似図形  $a^D$  によって構成されているとき、この指数  $D$  のことをいう。仮に、ある図形が、全体を  $1/a$  に縮小した相似図形  $b$  個によって成り立っているならば、

$$b = a^D$$

から

$$D = \log b / \log a$$

となる。

測定は、円や線、正方形などの特徴的な長さをもつ基本的な図形によってフラクタルな図形を近似する「粗視化の度合いを変える方法」(佐々木 1994; 高安 1986; 田村ら 1993) を適用した。なかでも特徴的な長さをもつ正方形を用いて行う方法は、「ボックスカウンティング法」と呼ばれ、各土壌薄片画像を 1 辺が  $\varepsilon$  の格子に分割し、空間中に孔隙を一部含む正方形の数  $N(\varepsilon)$  を数える方法である (Dathe et al. 2001)。格子の長さを変えたときの正方形の長さ  $\varepsilon$  とそのときの孔隙を含む正方形の数  $N(\varepsilon)$  との関係が、

$$N(\varepsilon) \propto \varepsilon^{-D}$$

を満たすとき、

$$\log N(\varepsilon) = -D \log \varepsilon + c$$

が得られる。このときの傾き  $D$  の絶対値をフラクタル次元  $D$  とし、格子の大きさは、画像データ上の 4, 8, 16, 32, 64, 128 ピクセルを一辺長とした。

#### 4-2-3 電子線プローブマイクロアナライザー (EPMA) による分析

土壌粒子の被覆 (coatings) の組成の解析には、筑波大学オープンファシリティ推進機構に設置されている電子線プローブマイクロアナライザー (EPMA) (JEOL 製, JXA-8530F) を使用した。鏡面研磨した土壌薄片プレパラート試料は、金蒸着した後に、加

速電圧 25 kV, 照射電流 30 nA にて, 定性分析及び元素マッピング (C, O, Al, Si, Mn, Fe) を行った.

### 4-3 結果および考察

#### 4-3-1 落ち葉堆肥連用畑地土壌と平地林土壌の微細形態学的特徴

落ち葉堆肥連用畑地 (三富 1) および平地林 (三富 2) の土壌微細形態学的特徴を, 表 4-1 に示した.

三富 1 および三富 2 の最表層 (0-5 cm) において, 三富 1 では小粒状構造が優占し, 発達強度であった (図 4-1) のに対し, 三富 2 では軟粒状構造が発達強度であり (図 4-13), 土壌微細形態の点で異なっていた. 特に, 三富 1 (0-5 cm) では, 特徴的な暗褐色物質に被覆された粒子 (DBC peds : dark brown substance coated peds) (図 4-2) が観察された. この DBC peds は, 小粒状ペッドのうち概ね 30-40%で観察され (研磨状況及び切片位置により観察状況が異なるため, 正確な存在量を表すものではない.), 三富 2 (0-5 cm) では観察されなかった. 三富 1 (0-5 cm) では, 軟粒状ペッド (図 4-3) に比べて, 0.1-3.0 mm の小粒状構造が優占しており, オープン・ポーフィリック c/f 相対分布を示した.

三富 1 (30-35 cm) では, 土壌薄片の上部約 1cm とそれ以下の下部とで, 土壌微細構造が異なっていた (図 4-7). 薄片上部約 1cm では, 小粒状構造が優占し (図 4-8), 三富 1 (0-5 cm) と同様なオープン・ポーフィリック c/f 相対分布を示したのに対し, それ以下の下部では, 0.5-8.0 mm の粒団の間に, バグおよびチャンネル孔隙と, 微細粒団を含む密な構造を示した (図 4-9). 比較的大きなファブリックユニットが骨格となるエノーリック c/f 相対分布であった. 30 cm 付近における耕盤層の形成が, 土壌微細形態からも明らかとなった.

三富 1 (45-50 cm) では, 接合または部分的に接合した亜角塊状が強度に発達する微

細構造で（図 4-10），亜角塊状ペッドが優占しており（図 4-11， 4-12），比較的大きなファブリックユニットが接近しているクローズ・ポーフィリック c/f 相対分布を示した。

平地林下土壌では，落ち葉堆肥連用土壌と比べ，土壌微細構造が異なっていた。三富 2（0-5 cm）では，軟粒状ペッドが優占し，根により形成されたチャンネル孔隙および亜角塊状粒団を分離する面状孔隙が顕著であった（図 5-13）。軟粒状ペッドが優占し，小粒状ペッドも含まれる（図 4-14）ほか，亜角塊状ペッドもみられる（図 4-15）。

三富 2（30-35 cm）においても，根によるチャンネル孔隙やバグがみられる（図 4-16）。

小粒状および軟粒状ペッドが優占していた（図 4-17， 4-18）。

三富 2（45-50 cm）では，三富 1（45-50 cm）と同様に，接合または部分的に接合した亜角塊状が発達する微細構造で（図 4-19），亜角塊状ペッドが優占しており（図 4-20），比較的大きなファブリックユニットが接近しているクローズ・ポーフィリック c/f 相対分布を示した。根跡部分では，部分的に密着した小粒団が根跡の孔隙を囲む微細構造が観察された（図 4-21）。

最も特徴的なペドフィーチャーは，三富 1（0-5 cm）および三富 1（30-35 cm）上部で観察された DBC peds の存在である。落ち葉堆肥連用畑地（三富 1）で観察されたが，平地林（三富 2）では観察されなかった。林地でないが，常に耕作が行われる純然たる畑地でもない休閑地（三富 3）表層では DBC peds は観察されるのであろうか。土壌薄片を観察した結果は，小粒状構造が優占しオープン・ポーフィリック c/f 相対分布を示す三富 1（0-5 cm）と同様な形態であった（図 4-22）。三富 1 よりも淡い暗褐色物質に被覆された粒子（DBC peds）ならびに小粒状および軟粒状ペッドが優占する点で共通点がみられた（図 4-23， 4-24）。更に，他の落ち葉堆肥連用畑地（三富 4）表層において土壌薄片を観察した結果は，小粒状構造が優占しオープン・ポーフィリック c/f 相対分

布を示す三富1 (0-5 cm) と同様な形態であった (図 4-25). 三富1 と同じく落ち葉堆肥を連用している三富4 では, 色調も三富1 と同様な DBC peds が観察された (図 4-26). また, 小粒状ペッドに加え, 中度に発達したペッド内微細構造を持つ軟粒状ペッドおよび屈折率の大きな粒子片が観察された点も三富1 と共通していた. DBC peds は, 林地ではなく畑地環境下で形成される可能性があると考えられた.

基本有機成分の点では, 植物残渣が各試料の特に表層で多くみられたほか, 黒色の点状物 (punctuation) が全試料で観察された. 平地林下土壌の三富2 では, 0.5-2.0 mm の大きさの (黄) 褐色の植物残渣がランダム分布していた. また, 生物活性が高いと思われる三富2 最表層 (0-5 cm) では, 50-100  $\mu\text{m}$  の大きさで, 円形ないし楕円形の赤みを帯びた新鮮排泄物と思われるペドフィーチャーが観察された. これらの新鮮排泄物と思われるペドフィーチャーは, 軟粒内の充填物としても存在していた.

落ち葉堆肥連用畑地 (三富1) および平地林 (三富2) 土壌の孔隙をみたときに, 畑地の最表層である三富1 (0-5 cm) では, ペッド間に存在する複合パッキング孔隙が優占していたが, 下層 (45-50 cm) では複合パッキング孔隙に加え, 植物根跡や垂角塊状粒団を接合的に分離する面状孔隙が多く含まれていた. 林地の最表層である三富2 (0-5 cm) では, 植物根によるチャンネル孔隙および垂角塊状粒団を分離する面状孔隙が顕著であったほか, 軟粒状および小粒状ペッド間の複合パッキング孔隙もみられた. 林地の下層 (45-50 cm) では, 複合パッキング孔隙に加え, 植物根跡や垂角塊状粒団を接合的に分離する面状孔隙が多く含まれていた点で, 三富1 下層と共通していた.

落ち葉堆肥連用畑地 (三富1) および平地林 (三富2) 土壌の孔隙量 (面積割合) は, 0-5 cm および 30-35 cm において有意な差がみられた (表 4-1). 三富1 (0-5 cm) の面積割合は 36.9 (%) であり, 三富2 (0-5 cm) の面積割合 29.3 (%) と比べて有意に高かった. 三富1 において耕盤が形成されていた付近の 30-35 cm では 18.8 (%) であったのに対し, 林地の三富2 (30-35 cm) では 33.2 (%) と, 三富1 (30-35 cm) が有意に低い

値となっていた。より下層の 45-50 cm では、ほぼ同じ値であった。最表層 (0-5 cm) では、有機物を施用し耕作することにより、畑地の方が孔隙量が有意に高く膨軟であるが、耕盤形成深度 (ここでは 30-35 cm) に達すると、畑地の方が有意に孔隙量が減少し圧密されていることが示された。更に下層 (ここでは 45-50 cm) に至ると、元々はともに入会秣場として使用されていた地点であり、孔隙量はほぼ同じ値を示す結果となった。

#### 4-3-2 フラクタル次元

農研機構畜産研究部門 ((旧) 畜産草地研究所) フラクタル解析システム fractal 3 (佐々木ら, 1998) を用いて孔隙のフラクタル次元を解析した結果, 落ち葉堆肥連用畑地および平地林の微細構造は,  $\log N(\varepsilon) = -D \log \varepsilon + c$  の関係式で直線性を満たし, フラクタルとなった (図 5-28~5-30)。

フラクタル次元の結果は表 4-2 に示した。0-5 cm における数値は畑地土壌の方が小さく, 畑地土壌の方が平地林土壌より複雑性が小さい傾向にあった。30-35 cm では逆に, 三富 1 では耕盤が形成されており, 上部と下部とで構造が異なる傾向にあったことから, フラクタル次元は三富 1 の方が大きく, 平地林土壌より複雑性が大きい傾向にあった。しかしながら, 同一深さにおける三富 1 と三富 2 の間に有意差はない結果となり ( $p=0.382$ ), 落ち葉堆肥連用畑地と平地林とで, 土壌構造の複雑さという点においては有意差がない結果となった。

#### 4-3-3 暗褐色物質被覆粒子 (DBC peds) の EPMA 分析

4-3-1 において, 最も特徴的なペドフィーチャーは, 三富 1 (0-5 cm) および三富 1 (30-35 cm) 上部で観察された DBC peds の存在で, 落ち葉堆肥連用畑地 (三富 1) で観察されたが, 平地林 (三富 2) では観察されなかった点を指摘した。褐色粒子を被覆している暗褐色物質の組成を分析するため, 電子線プローブマイクロアナライザー

(EPMA) による分析を実施した。

分析を行った粒子は、図 4-31 に丸で示した。当該粒子の SEM 画像 (図 4-32) 中の下部白色の四角部分を EPMA 分析に供した。四角部分下部の濃色部分が、DBC peds 外側で被覆している暗褐色部分、四角部分上部の淡色部分が、DBC peds 内側で被覆されている褐色部分である。

DBC peds 外側で、被覆している暗褐色部分の分析チャートを図 4-33 に、DBC peds 内側で、被覆されている褐色部分の分析チャートを図 4-34 に、それぞれ示した。共通して明瞭なピークとなった Si, O, Fe のほかに、DBC peds 外側部分では、Ca, Mg, および Mn のクリアなピークが検出された (図 4-33)。これに対し、DBC peds 内側では、Al および Ti のクリアなピークがみられた。三富 1 においては、落ち葉に米ぬかを添加し、落ち葉堆肥を調製している。石井ら (2005) は、米ぬか、玄米、白米、および無洗米の元素分布を調べた結果、Mn は米ぬかに偏在していることを明らかにした。これらのことから、DBC peds 外側部分で検出された Mn のクリアなピークは、落ち葉堆肥調製時に添加された米ぬかに由来するものと考えられた。

SEM 画像 (図 4-32) 中の下部白色の四角部分の元素マッピング結果を図 4-35 に示した。なお、DBC peds 元素マッピング (図 4-35) 画像左端の白色矢印は、DBC peds の外側暗褐色被覆部分 (下) と内側褐色部分 (上) との境界を示す。図 4-35 より、C は、DBC peds の外側暗褐色被覆部分 (下) に多く含まれることが明らかとなった。O および Al は、DBC peds の内側褐色部分 (上) に多く分布していた。

図 5-33~5-35 から、Al および Ti に富む DBC peds の内側褐色部分は鉱質的で、C に富む DBC peds の外側暗褐色被覆部分は有機質的であった。DBC peds は、B 層的な褐色部分の周囲を、落ち葉堆肥由来と思われる部分を含む A 層的な暗褐色部分が被覆した粒子と考えられた。

#### 4-3-4 特異な土壤構造に関する土壤微細形態学的視点

土壤薄片プレパラートの顕微鏡下での観察および EPMA マッピングの結果から、三富 1 で観察された暗褐色の coating 物質が褐色の粒子を被覆する構造を有する特徴的な粒子 (DBC peds) の存在が新たに明らかとなった。この構造を有する粒子の他の土壤における報告事例について検討を行った。

Andosols では、孔隙、粒子および粒団に関するペドフィーチャーとして、被覆 (coatings) および準被覆 (hypo-coating) が、火山碎屑物断片の表面および内部でしばしば観察される (Stoops et al. 2008)。また、粘土被覆は、風化が進むにつれて現れるようになる (Stoops 2007)。Andosols における coatings は、カナリア諸島およびイタリヤ等 (Stoops 2007)、アイスランド (Stoops et al. 2008)、メキシコ中央部 (Sedov et al. 2003)、ロシア・ベーリング諸島 (Ivanov et al. 2014) 等において、clay coating pedofeature が報告されているが、三富 1 で観察された DBC peds に類する指摘はみられない。河井 (1969) は、日本全国の Andosols の微細形態を研究し、重要な特徴として粒状構造を指摘しているが、三富 1 で観察された DBC peds に関する言及はみられない。Andosols に関する文献調査の結果、三富 1 で観察された DBC peds はこれまで報告がなく、生成に際し火山灰母材のみに由来するところでないことが示唆された。

三富 1 では長期にわたり落ち葉堆肥を施用しており、三富 1 で観察された DBC peds が有機物の蓄積的な効果によるのであれば、草地植生下において大量の有機物が蓄積されている Chernozems において報告がある可能性がある。Chernozems は、ロシアのステップや北米のプレーリーに代表される広大な自然草原下で、大陸内部という地理的条件により気温、降水量、植生の微妙なバランスの結果、腐植と灰分に富み団粒構造の発達した黒色の厚い A 層を持つ肥沃な土壤である (永塚 2014)。Chernozems の微細形態については、Panin et al. (2018) によるアゾフ海沿岸における研究例他があるが、これまでに三富 1 で観察された DBC peds に関する報告は確認できておらず、三富 1 で観察さ

れたDBC pedsは有機物の蓄積的な効果のみにより生成するものではないと考えられた。なお、Chernozemsではないが、日本において草地が維持されているのが阿蘇地域(Kawano et al. 2012)であるが、当該地域において、三富1で観察されたDBC pedsはこれまで報告がみられていない。

人類に影響を受けていなかった自然土壌は、耕作・伐採・採草・下草刈り・放牧・火入れなどの人為によって、それまでとは異なった土壌生成因子の組み合わせをもたらし、新しい土壌を生成する方向に土壌生成過程を変化させていく(永塚 2014)。Anthrosolsは、例えば有機物の施用、灌漑、耕作といった長期にわたる人為を通じ形成された土壌である(Driesen et al. 2001)。これまでも土壌学者と考古学者は、例えばヨーロッパにおけるプラグゲン土壌(Blume and Leinweber 2004)や、アマゾンの黒色土(Macedo et al. 2017; Brancier et al. 2014)等を通じ、人間の活動と土壌生成について研究を進めてきたところであるが、これらのAnthrosolsは有機物施用を長期にわたり行うという人為によりA層形成に至った土壌とも言える。Anthrosolsにおいて、DBC pedsと同様な粒子の報告例はみられず、人為因子のみによりDBC pedsが形成されることはないと考えられた。

茨城県農業総合センター農業研究所の黒ボク土圃場において、1984年から2004年までの20年間にわたり有機物連用試験が行われた。林(2006)は、この黒ボク土畑における各種有機物の長期連用が土壌の諸性質に及ぼす影響について、土壌微細形態を含む研究を行った。試験区の構成は、麦稈、稲わら堆肥、オガクズ牛糞堆肥、汚泥コンポスト、および乾燥豚ふんの5連用区ならびに化学肥料単用区の計6試験区であった。この研究結果を改めて検証したところ、DBC pedsと思われる粒子が、麦稈区および稲わら堆肥区において確認された。その一方で、オガクズ牛糞堆肥、汚泥コンポスト、および乾燥豚ふんの3連用区ならびに化学肥料単用区からは、DBC pedsと思われる粒子は確認されなかった。このことから、DBC pedsの形成には、黒ボク土において、植物性の有

機物を，長期に耕作する効果が示唆された。

#### 4-4 まとめ

- (1) 三富1および三富2の最表層(0-5 cm)において，三富1では小粒状構造が優占し，発達強度であったのに対し，三富2では軟粒状構造が発達強度であり，土壌微細形態の点で異なっていた。特に，三富1(0-5 cm)では，特徴的な暗褐色物質に被覆された粒子(DBC peds : dark brown substance coated peds)が観察され，三富2(0-5 cm)では，軟粒状ペッドが優占し，根により形成されたチャンネル孔隙および亜角塊状粒団を分離する面状孔隙が顕著であった。
- (2) 当地において，最も特徴的なペドフィーチャーは，三富1(0-5 cm)および三富1(30-35 cm)上部で観察されたDBC pedsの存在であった。DBC pedsは，三富2では観察されないことから，林地ではなく畑地環境下で形成される可能性があると考えられた。
- (3) 三富1(30-35 cm)では，土壌薄片の上部約1 cmとそれ以下の下部とで，土壌微細構造が異なっており，30 cm付近における耕盤層の形成が，土壌微細形態からも明らかとなった。
- (4) 三富1(45-50 cm)および三富2(45-50 cm)では，接合または部分的に接合した亜角塊状が発達する微細構造で，亜角塊状ペッドが優占していた。
- (5) 孔隙面積割合は，落ち葉堆肥連用畑地(三富1)および平地林(三富2)とで，同一層位(0-5 cmおよび30-35 cm)において有意差があり，300年にわたる土地利用の相違は，表層において有意な差が認められることが明らかとなった。
- (6) 落ち葉堆肥連用畑地と平地林とで，フラクタル解析結果から，土壌構造の複雑さという点においては有意差がない結果となった。
- (7) A1およびTiに富むDBC pedsの内側褐色部分は鉱質的で，Cに富むDBC pedsの

外側暗褐色被覆部分は有機質的であった。DBC peds は、B層的な褐色部分の周囲を、落ち葉堆肥由来と思われる部分を含むA層的な暗褐色部分が被覆した粒子と考えられた。

- (8) DBC peds の形成には、黒ボク土において、植物性の有機物を、長期に耕作する影響が示唆された。

表 4-1 落ち葉堆肥連用畑地および平地林土壌の微細形態

深さ (cm)	主要な微細構造 <sup>†</sup>	c/f 相対分布型 <sup>‡</sup>	粒団		孔隙			
			ペッド <sup>§</sup>	ペッド性の程度 <sup>¶</sup>	大きさ (mm)	型 <sup>††</sup>	面積割合 <sup>‡‡</sup>	
落ち葉堆肥連用畑地 (三富1)	Gr Gr Sb	Po Po / En Pc	Gr, Cr Gr, Cr Sb	S, M S, M S	0.1-3.0 0.05-7.0 0.1-2.0	Cdp Cdp, Ch Cdp, Pl, Vu	36.9 ** 18.8 *** 16.3	(±5.09) (±8.36) (±2.75)
平地林 (三富2)	Cr, Sb Cr, Gr Sb, Cr	Pc Po Pc	Cr, Gr, Sb Gr, Cr Sb, Cr	S, M, M-S S, S S-M, M-S	0.1-5.0 0.01-2.0 0.1-3.0	Cdp, Pl, Ch Cdp, Ch, Vu Cdp, Pl, Vu	29.3 ** 33.2 *** 16.9	(±6.01) (±5.33) (±5.46)

<sup>†</sup> Gr: 小粒状構造, Cr: 団粒状構造, Sb: 亜角塊状構造

<sup>‡</sup> Po: オープン・ポーフィリック, Pc: クローズ・ポーフィリック, En: エノーリック

<sup>§</sup> Gr: 小粒状ペッド, Cr: 軟粒状ペッド, Sb: 亜角塊状ペッド

<sup>¶</sup> S: 発達度強, M: 発達度中

<sup>††</sup> Cdp: 複合パッキング孔隙, Vu: バグ, Ch: チャンネル, Pl: 面状孔隙

<sup>‡‡</sup> および \*\*\* は, 1% および 0.1% で, 同一層位における落ち葉堆肥連用畑地と平地林とで有意差あり。括弧内の数値は標準偏差。

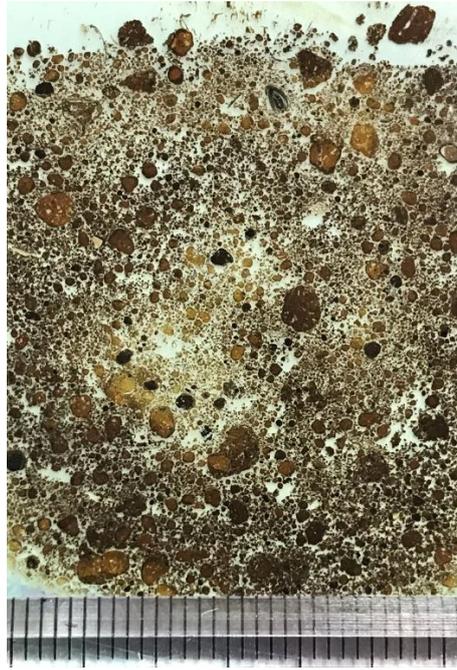


図 4-1 落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富 1 ; 0-5 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

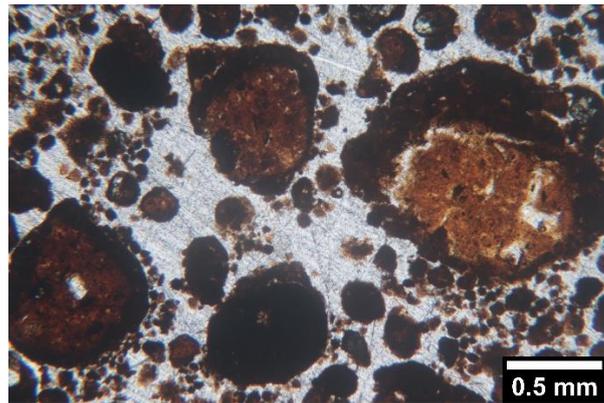


図 4-2 暗褐色物質に被覆された粒子（DBC peds）（三富 1 ; 0-5 cm）

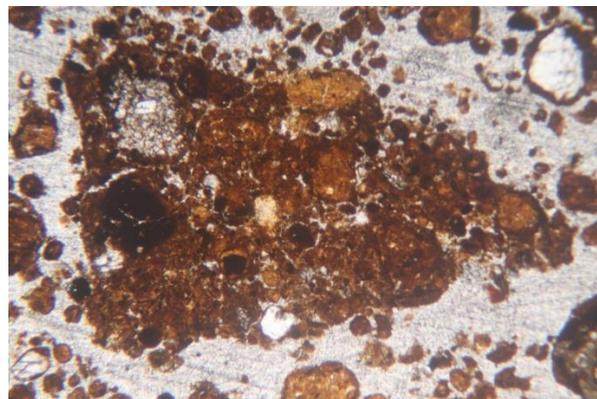


図 4-3 中度に発達したペッド内微細構造を持つ軟粒状ペッドおよび屈折率の大きな粒子片（三富 1 ; 0-5 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

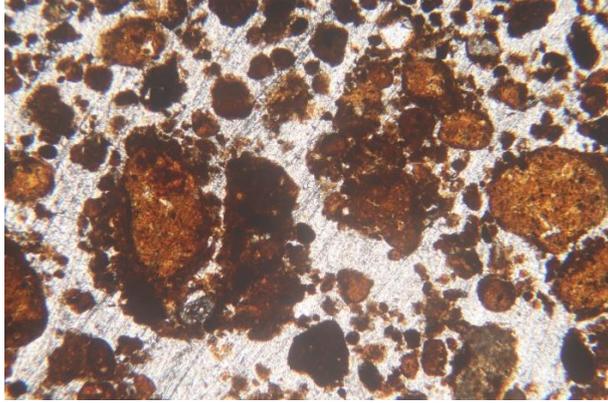


図 4-4 厚い暗褐色物質に被覆されつつある粒子および軟粒状ペッド(三富 1 ; 0-5 cm)  
(スケールは図 4-2 と同一である.)

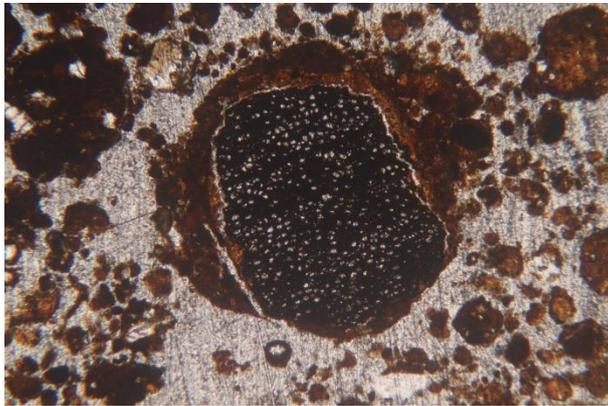


図 4-5 暗褐色物質に被覆された黒色の炭化片(?) (三富 1 ; 0-5 cm) (スケールは図 4-2 と同一である.)

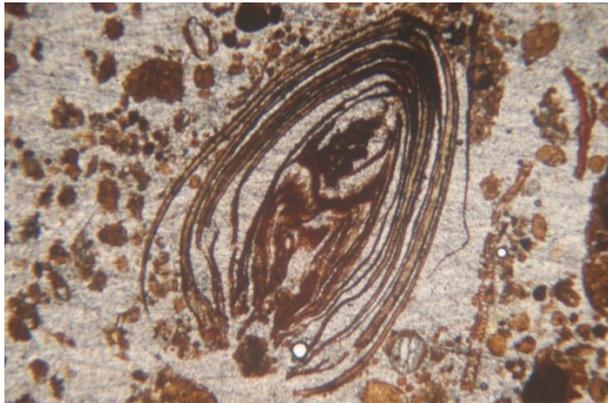


図 4-6 植物残渣 (三富 1 ; 0-5 cm) (スケールは図 4-2 と同一である.)

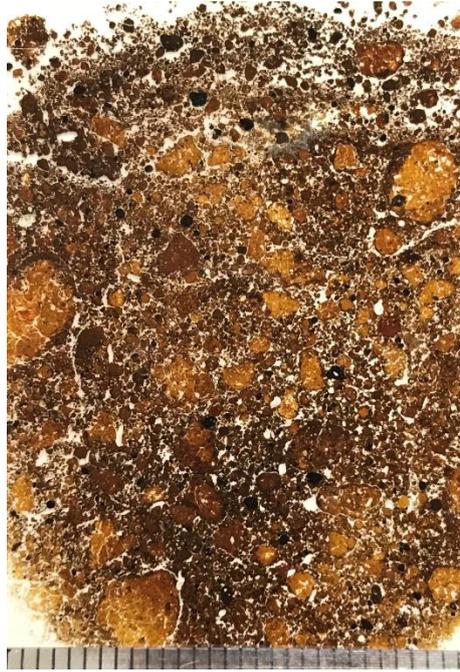


図 4-7 落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富 1 ; 30-35 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

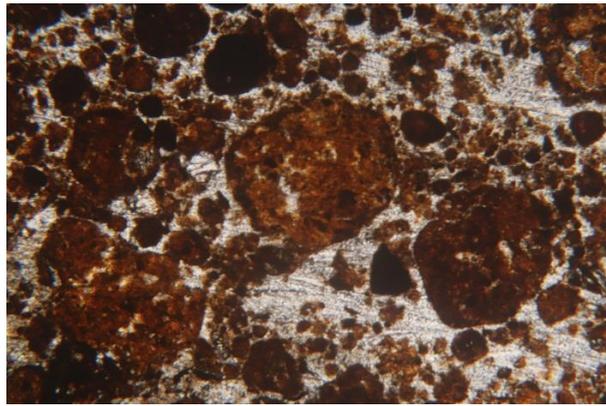


図 4-8 薄片上部（三富 1 ; 30-35 cm）（スケールは図 4-2 と同一である。）

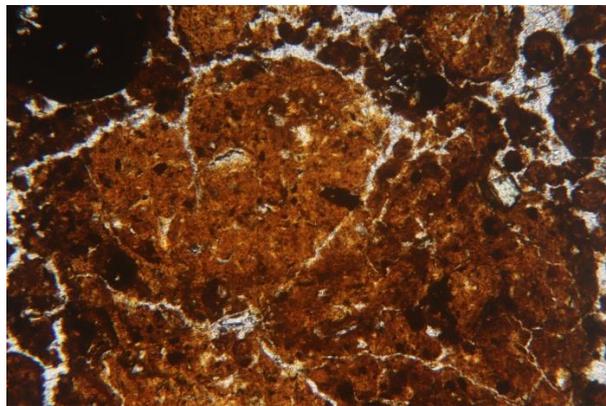


図 4-9 薄片下部（三富 1 ; 30-35 cm）（スケールは図 4-2 と同一である。）

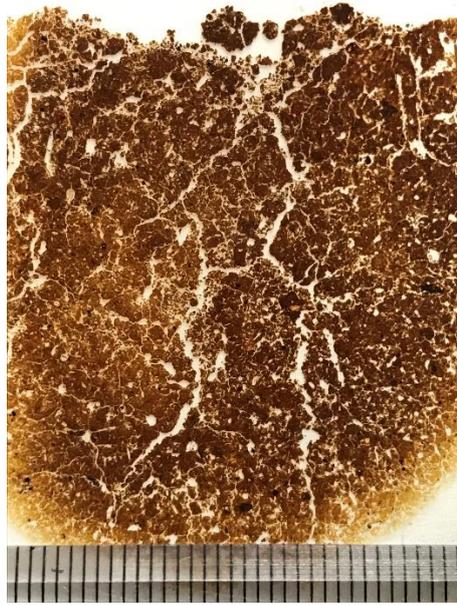


図 4-10 落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富 1 ; 45-50 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

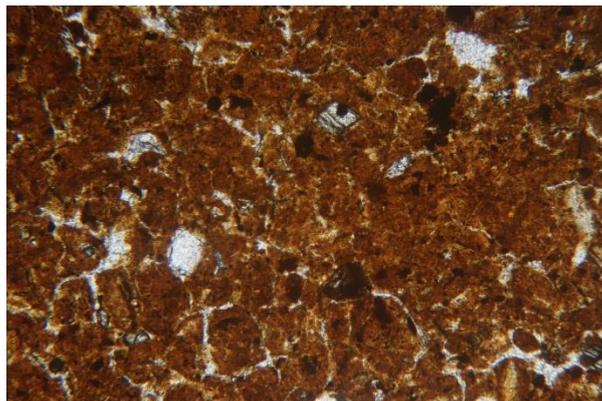


図 4-11 接合もしくは部分的に接合した亜角塊状微細構造（三富 1 ; 45-50 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

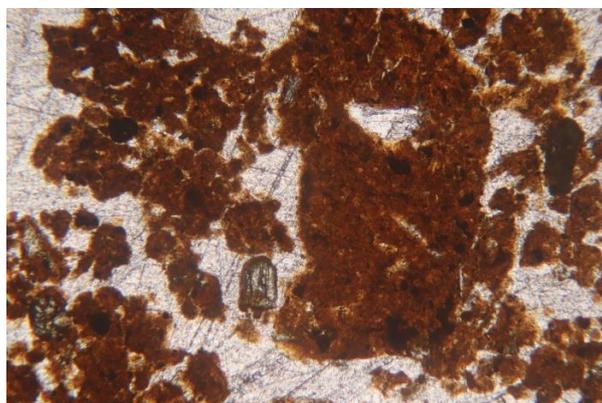


図 4-12 ペッド内微細構造（発達中～弱度）を持つ亜角塊状ペッド（三富 1 ; 45-50 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

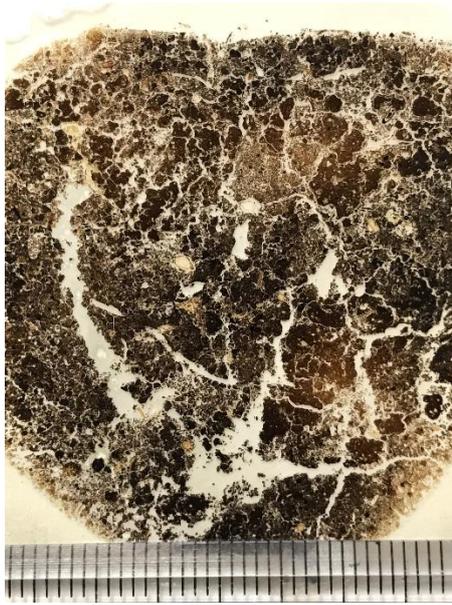


図 4-13 平地林下土壌（三富 2 ; 0-5 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

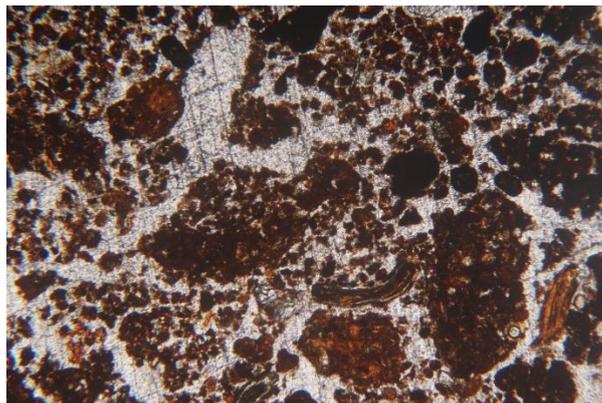


図 4-14 軟粒状および小粒状ペッドならびに植物残渣（三富 2 ; 0-5 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

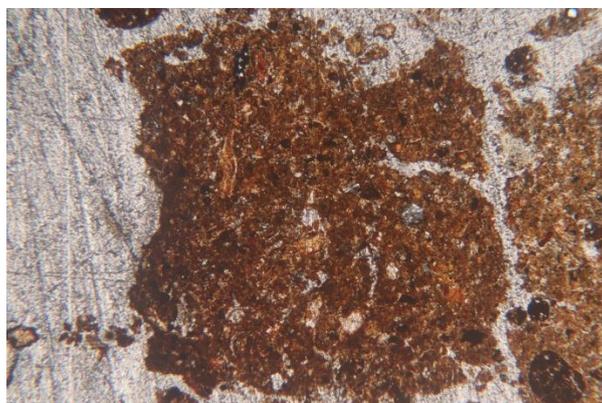


図 4-15 亜角塊状ペッド（三富 2 ; 0-5 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）



図 4-16 平地林下土壌（三富 2 ; 30-35 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

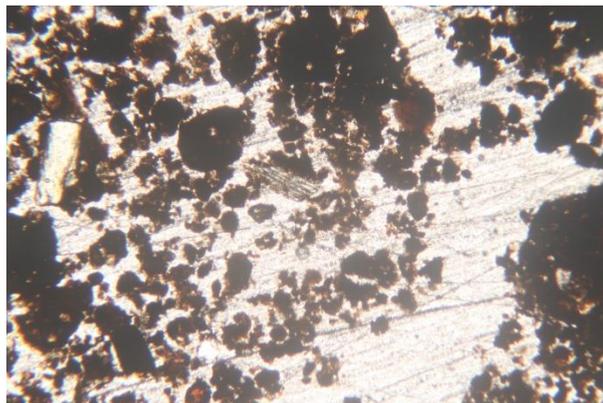


図 4-17 小粒状および軟粒状ペッドならびに屈折率の大きな粒子片（三富 2 ; 30-35 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

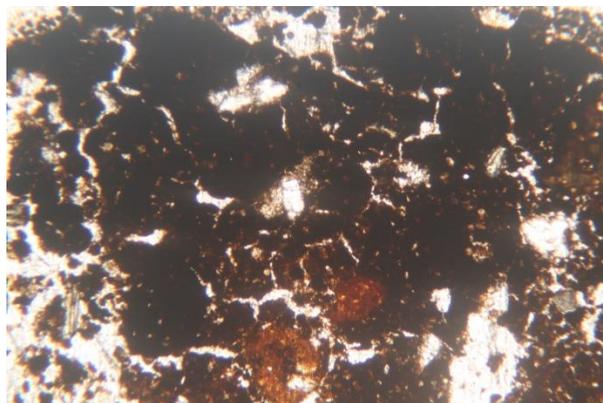


図 4-18 中度に発達した軟粒状ペッド（三富 2 ; 30-35 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

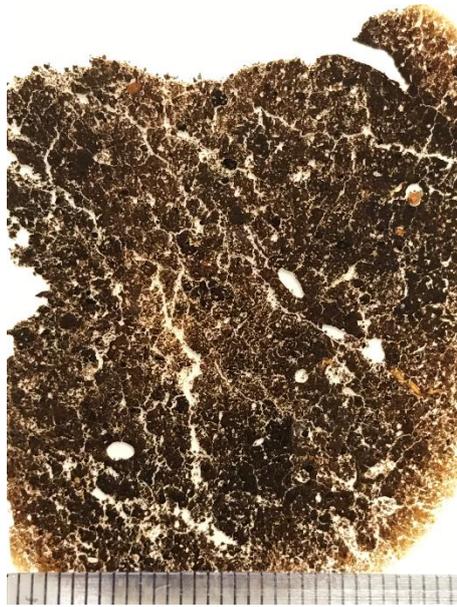


図 4-19 平地林下土壌（三富 2 ; 40-45 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

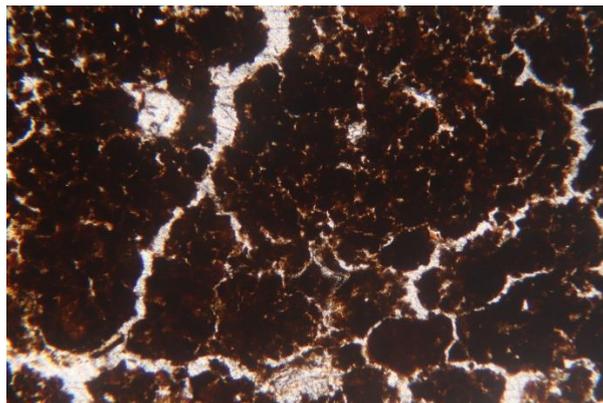


図 4-20 面状孔隙により分離された亜角塊状粒団に分割された亜角塊状構造（三富 2 ; 40-45 cm）（スケールは図 4-2 と同一である。）

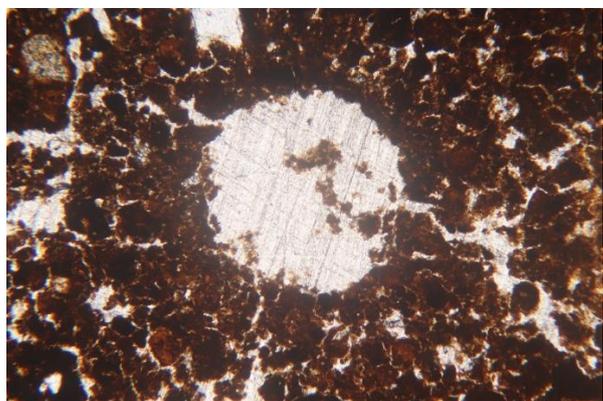


図 4-21 根跡に形成された構造（三富 2 ; 40-45 cm）（スケールは図 4-2 と同一である。）



図 4-22 休閒地土壤（三富 3 ; 0-5 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

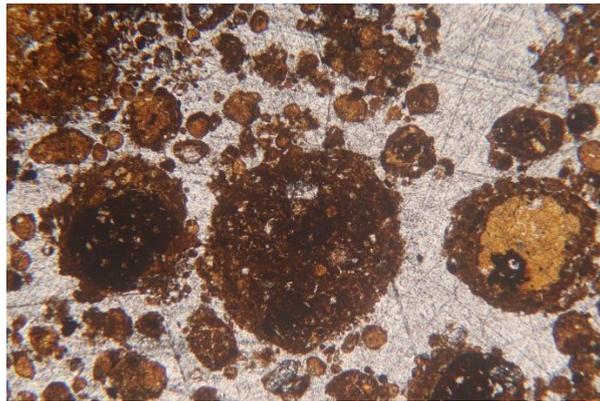


図 4-23 三富 1 よりも淡い暗褐色物質に被覆された粒子 (DBC peds) ならびに小粒状および軟粒状ペッド (三富 3 ; 0-5 cm) (スケールは図 4-2 と同一である.)

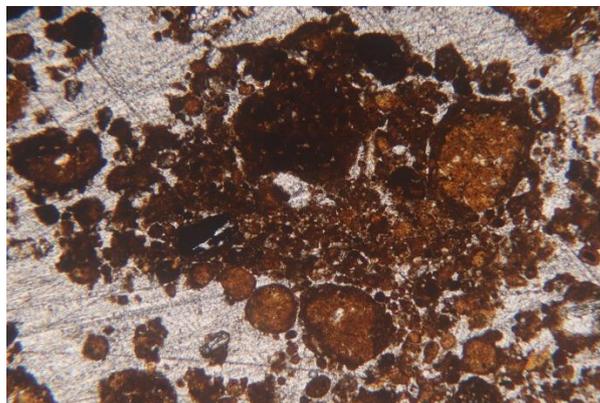


図 4-24 中度に発達したペッド内微細構造を持つ軟粒状ペッドおよび屈折率の大きな粒子片 (三富 3 ; 0-5 cm) (スケールは図 4-2 と同一である.)



図 4-25 落ち葉堆肥連用畑地土壌（三富 4 ; 0-5 cm）の微細形態写真 ※1 目盛=1 mm.

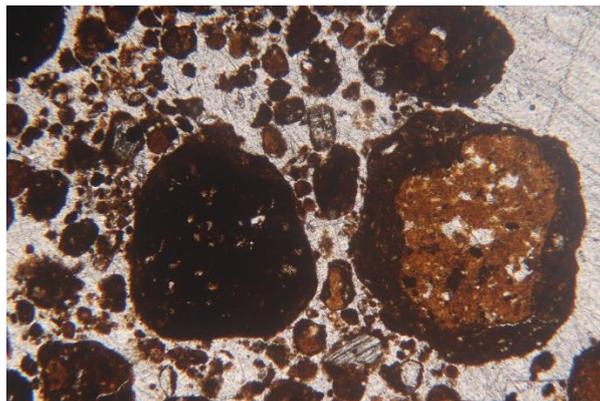


図 4-26 暗褐色物質に被覆された粒子（DBC peds）（三富 4 ; 0-5 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

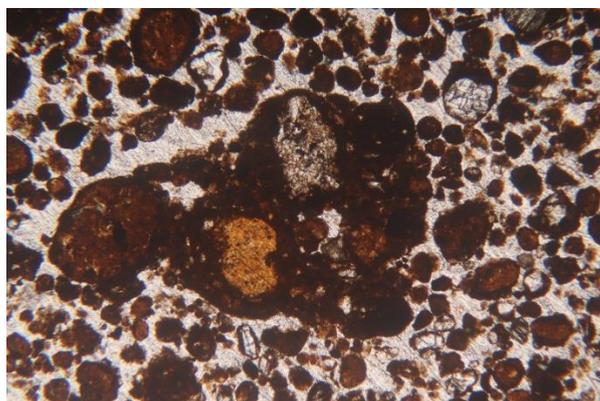


図 4-27 中度に発達したペッド内微細構造を持つ軟粒状ペッド，小粒状ペッドおよび屈折率の大きな粒子片（三富 4 ; 0-5 cm）（スケールは図 4-2 と同一である.）

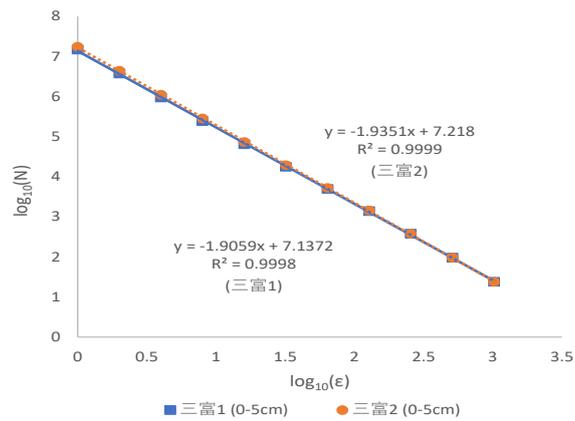


図 4-28 三富 1 および三富 2 (0-5 cm) の格子の目の長さ  $\epsilon$  とその長さを単位として測定した孔隙空間を含む正方形の個数  $N$  との関係

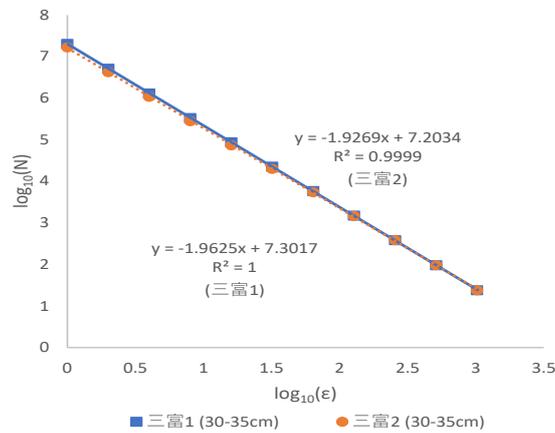


図 4-29 三富 1 および三富 2 (30-35 cm) の格子の目の長さ  $\epsilon$  とその長さを単位として測定した孔隙空間を含む正方形の個数  $N$  との関係

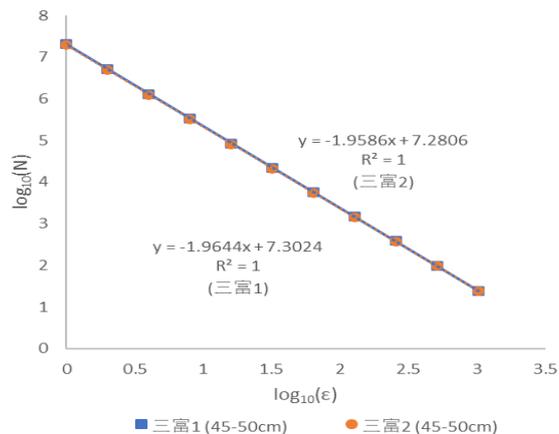


図 4-30 三富 1 および三富 2 (45-50 cm) の格子の目の長さ  $\epsilon$  とその長さを単位として測定した孔隙空間を含む正方形の個数  $N$  との関係

表 4-2 落ち葉堆肥連用畑地（三富 1）および平地林（三富 2）における  
 土壌微細構造のフラクタル次元

	深さ (cm)	フラクタル次元
三富 1	0-5cm	1.9059
	30-35cm	1.9625
	45-50cm	1.9644
三富 2	0-5cm	1.9351
	30-35cm	1.9269
	45-50cm	1.9586

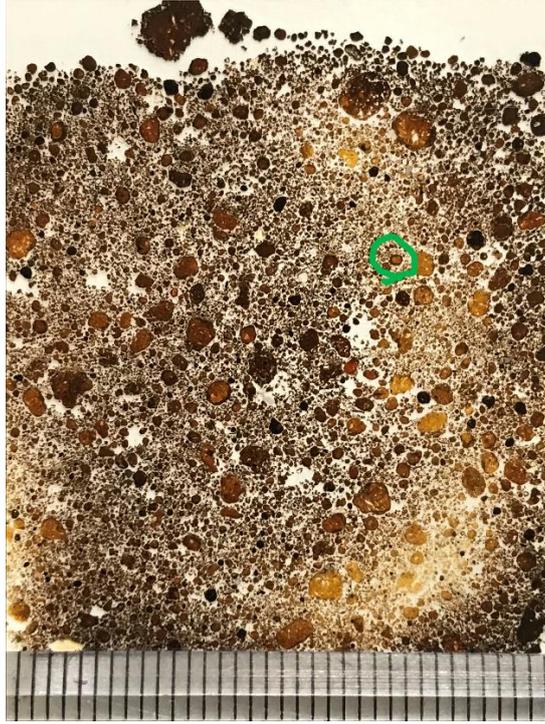


図 4-31 EPMA 分析粒子. 丸でマークした粒子を分析に供した.

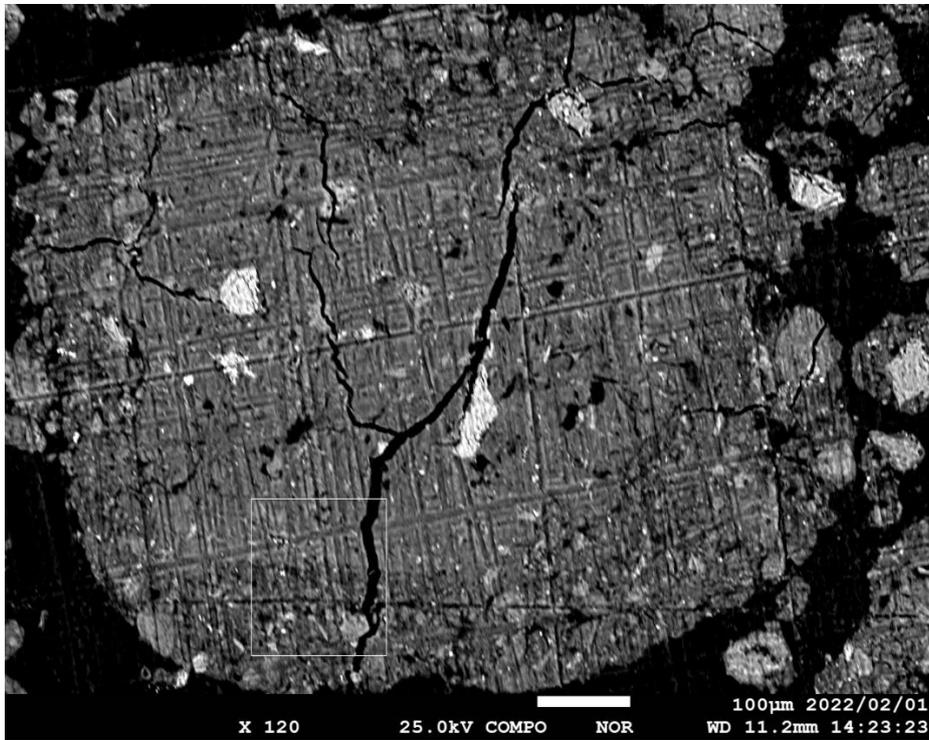


図 4-32 EPMA 分析粒子の SEM 画像. 下部の白色の四角部分を分析に供した.

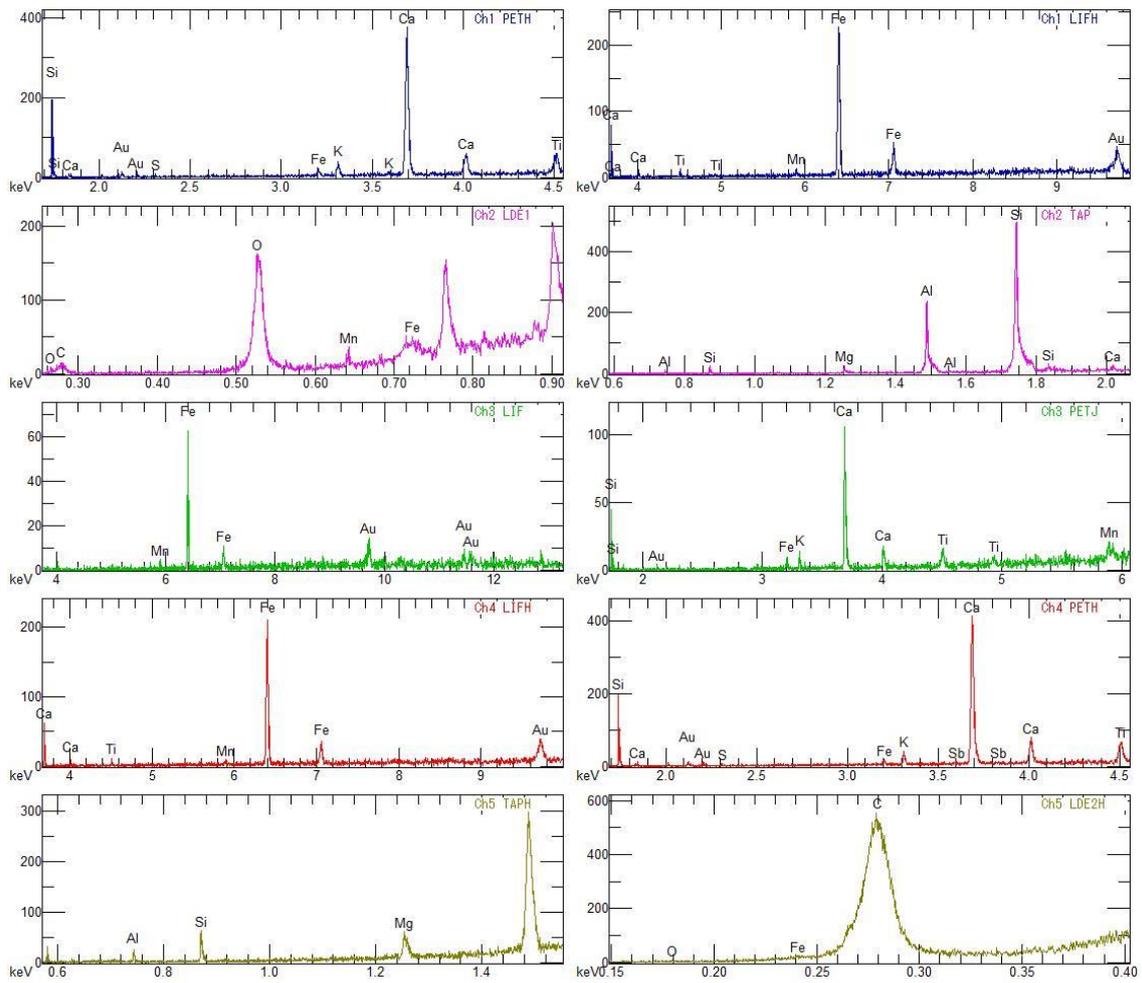


図 4-33 DBC peds 外側で、被覆している暗褐色部分の分析チャート

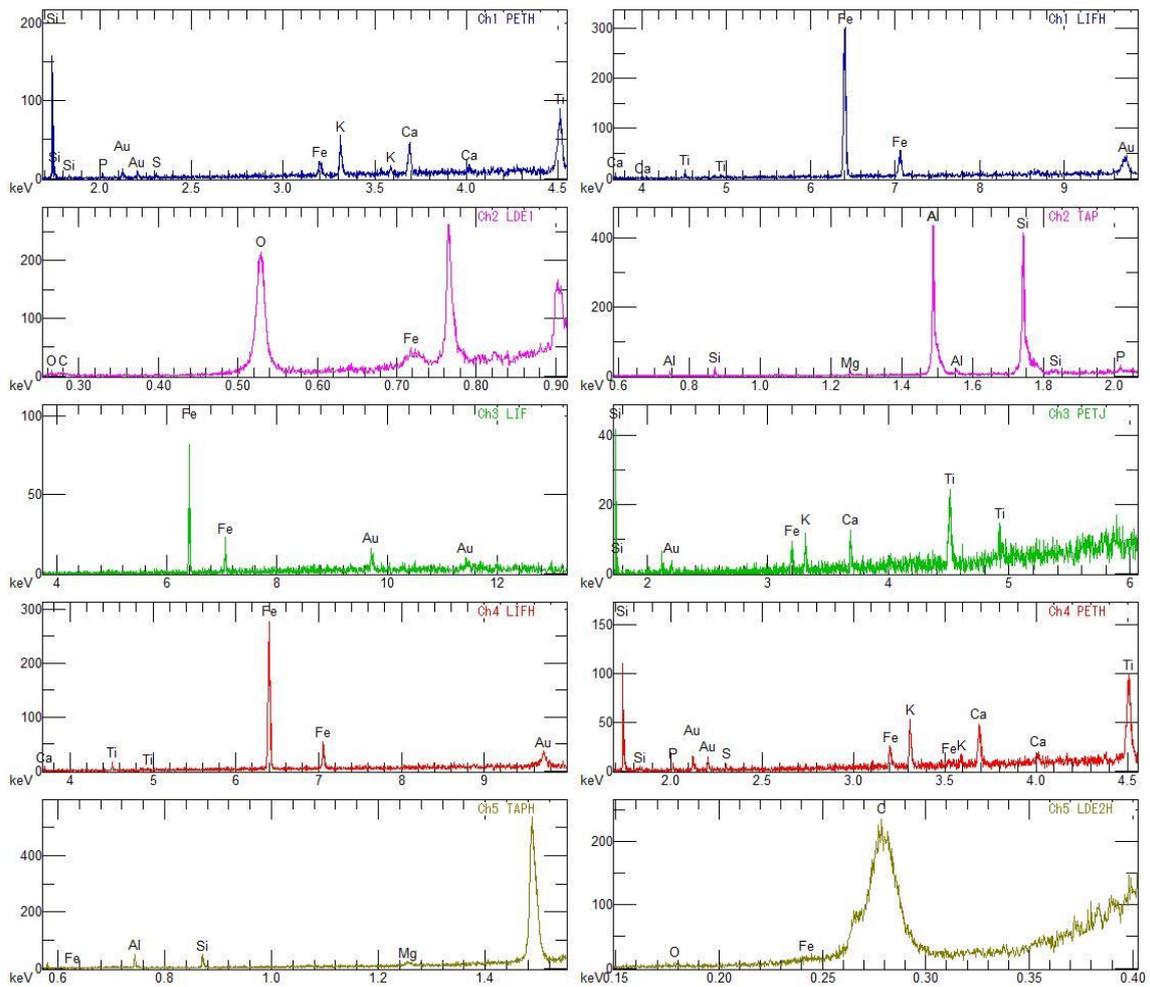


図 4-34 DBC peds 内側で、被覆されている褐色部分の分析チャート

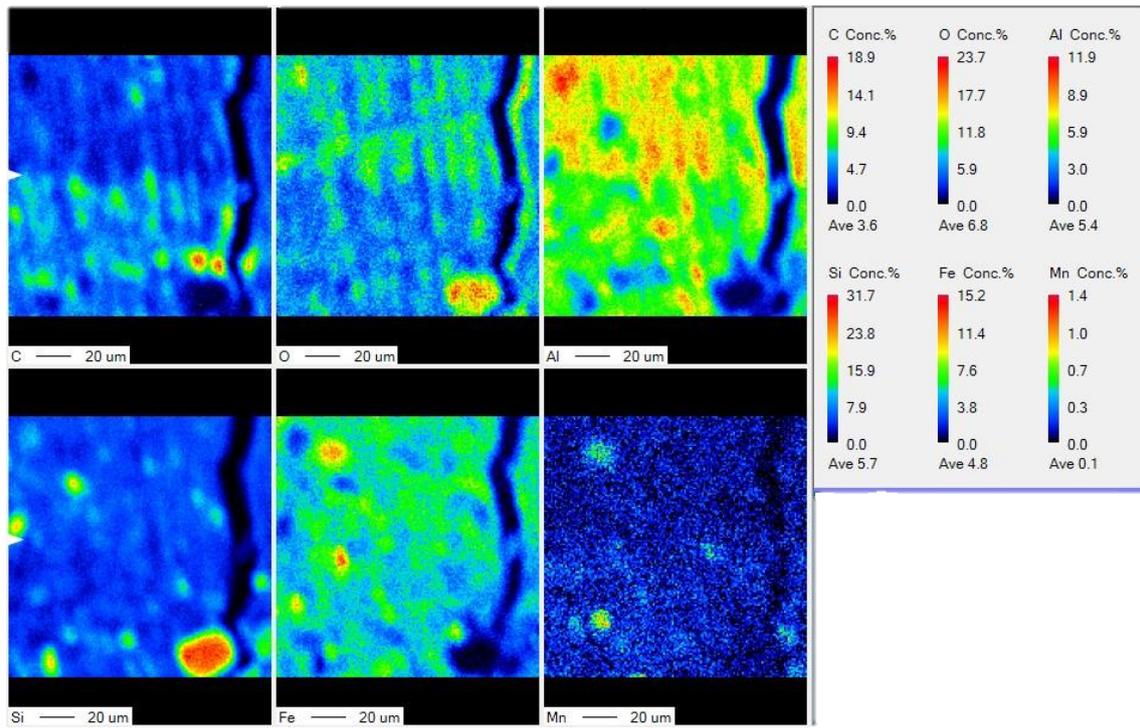


図 4-35 DBC peds の元素マッピング 画像左端の白色矢印は、DBC peds の外側暗褐色被覆部分（下）と内側褐色部分（上）との境界を示す。

## 第5章 総合考察

### 5-1 はじめに

武蔵野台地の一角を占め、現在においても往時の地割を色濃く残す三富新田は、元は入会秣場が新田開発（要すれば畑に造成）され、一方は平地林として、もう一方は畑地として、人間の活動が直接的な形成因子として作用してきた地域である。平地林からの落ち葉を落ち葉堆肥として活用した農法が、現代においても継続して行われており、300年に及ぶ人為が継続しているということは、落ち葉堆肥施用という労力に見合う効果・必然性があったと考えられる。

武蔵野が新田開発されてからは、＜水との闘い＞＜風との闘い＞＜土との闘い＞があったと地元の農家より教えられたが、開発当時は生産性が低く、これを改善するための農作業、すなわち落ち葉を落ち葉堆肥として活用した農法が長期にわたり展開されてきた。また、武蔵野においては、冬場から春先にかけて、からっ風が吹き荒ぶ日が少なくなき、激しい風食に耐えて肥沃性が維持され農業が展開されてきたことから、何らかの構造的な特徴が形成されているのではないかと考えられ、人間の活動が直接的な形成因子として作用したこの地域の土壌を理解するため、生物性等短期で変動する項目のみならず、比較的長期の影響が反映されると考えられる土壌微細形態学的な検討を行った。本章では、これまでの各章における結果を総合し、落ち葉堆肥長期連用による畑地土壌の形成と肥沃度維持について考察した。

三芳町（2014）によれば、南米チリの砂漠化防止策として三富新田の土地利用を手本に国際協力機構（JICA）が技術指導するなど世界的に注目されている、とされているところであるが、三富新田で300年にわたり展開されている平地林からの落ち葉堆肥を活用した農法について、持続可能性の観点から考察することは重要と考えられ、環境保全型農業としての位置づけを検討した。

## 5-2 平地林由来の落ち葉堆肥長期連用農法下における畑地土壌の形成および特徴

元々は同じく入会秣場であった場所が 1696 年に開拓され、一方は平地林として、もう一方は畑地として、約 300 年間にわたり異なる土地利用されてきた。第 3 章での土壌調査の結果より、平地林下土壌（三富 2）では、厚い黒色～黒褐色の A 層が観察された一方で、畑地（三富 1）においては観察されなかった。

土壌生成論的な考察を行うに際し、当地における自然環境で最も特徴的な事象は、冬から春にかけての強風、いわゆる「からっ風」による風食を挙げることができる。

風食発生の第一要因は強風、第二要因は土壌水分である（真木, 1985）。Bangnold (1941) によれば、土粒子の移動形態には、0.5 mm 以上の粗粒子が地表面を転がって移動する転動 (surface creep), 0.1-0.2 mm の粒子が地面より跳ね上がって落下する運動の繰り返しで移動する跳躍 (saltation), および 0.05 mm 以下の微粒子が空中に浮いて移動する浮遊 (suspension) の 3 形態がある。これら転動, 跳躍, および浮遊の 3 つの土粒子移動形態は、米国農務省の風食予測システム (The Wind Erosion Prediction System (WEPS); USDA 2022) においても考慮されている (図 5-1)。これまでの研究成果から、乾燥土壌では地上 1 m 高の風速が、 $4-5 \text{ ms}^{-1}$  で転動,  $5-6 \text{ ms}^{-1}$  で跳躍,  $6-7 \text{ ms}^{-1}$  で浮遊が発生し始め、 $10 \text{ ms}^{-1}$  以上では砂塵が空を覆うほどになる (真木, 1985)。

三富新田の最寄りの気象観測地点は所沢であり、所沢における 10 年間 (2006 年～2015 年) の日最大風速  $10 \text{ ms}^{-1}$  以上日数を図 5-2 に示した。空が赤茶けた色となり砂塵が空を覆う目安とされる風速  $10 \text{ ms}^{-1}$  以上の日数は、12 月～4 月にかけて多く発生している。また、地表面が凍結する目安となる最低気温  $3^{\circ}\text{C}$  以下 (鈴木ら, 2017) は、12 月～3 月に現れており (表 5-1), 昼は気温が上昇することで、土壌表面に形成されたクラストが凍結融解を繰り返しながら、飛散しやすい微細な土粒が地表に産生される

ことになる。なお、12月～2月の降水量は、50 mm以下と少ない時期であり（表5-1）、晴天が続き土壌が乾燥する時期である。こうして、12月～4月にかけては、凍結融解の繰り返しにより飛散しやすい土粒が地表面に蓄積されやすい傾向にあり、かつ乾燥するところに強風が発生するため、風食が発生しやすい環境下に置かれる。

Wagner (2013)は、風食予測に際し、地表を岩石、地殻、粒団に区分し、粒団はさらに、地表を転がる転動粒団；Creep-size aggregates (0.84-2.0 mm diameter)、地表を跳躍する跳躍粒団；saltation-size aggregates (0.10-0.84 mm diameter)、および空中を浮遊する浮遊粒団；suspension-size aggregates (<0.10 mm)に区分した。第3章で耐水性団粒について、Wagner (2013)による風食形態別画分を加えた表が表5-2 および表5-3 である。ただし、耐水性団粒粒径画分にはWagner (2013)による0.84 mmの区分はないため、表5-2 および表5-3 では、耐水性団粒粒径0.1～1.0 mmを、Wagner (2013)によるsaltation-size aggregatesとした。

表5-2 および表5-3 より、転動画分は、平地林下土壌（三富2）に比べ、畑地（三富1）の方が若干多く、浮遊画分は逆に畑地（三富1）の方が若干少ない結果となった。転動画分よりも大きな>2.0 mm画分が、平地林下土壌（三富2）では15%を超え、畑地土壌（三富1）に比して粗大団粒画分が多く、難転動的であることが明らかになった。その一方で、畑地土壌（三富1）では、跳躍画分が4割を超えており、粒径を大きくして風食耐性を増していることが推定された。三富新田では、畑境に茶の木を植え、畑の土が飛ばされないよう防風の役割とともに、商品作物としても有効であった（松本1997）とされている。開発時の上富村のようすを示した「三芳町立歴史民俗資料館公式HP」に、北西方向からの季節風を示す矢印を加えたのが図5-3である。畑境に植えた木が季節風の風向と垂直な位置関係となり、風食に対する先人の知恵を垣間見ることができる。以上の、畦畔茶木と落ち葉堆肥による風食抑制を、図5-4にまとめて示した。

武蔵野台地を含む関東甲信地方の風食の特徴とその抑制対策について論じた鈴木・大澤・松岡（2017）によれば、「広く関東ロームに覆われた関東甲信地方では、冬～春季に特有の強風と乾燥によって風食が発生する」その一方で「関東甲信地方の農業は、この土壌と気候を活用したものであり、農業と風食は表裏一体のものとしてとらえる必要がある」とした。三富新田においては、黒ボク土の風食環境下にあつて、在野の工夫がなされた農業が展開されてきたと考えられる。

Higuchi & Kashiwagi（1993）は、武蔵野台地の黒ボク土における長期耕作後の土壌断面形態の特徴と有機物量に関する研究の中で、非耕作地土壌（平地林下土壌）と耕地土壌の断面形態を比較し、鍵層（Tc2）の出現位置から、新田開発後 270 年間で  $4.9\sim 10.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  の耕地土壌表層が風食されたとした。これらの研究対象地は、三富新田から直線距離で 15 km ほど南部の地域であり、三富新田の畑地においてもほぼ同様な風食量と推定される。

三富新田地域の土壌は、元々は同じく入会秣場であつた場所が 1696 年に開拓され、一方は平地林として、もう一方は畑地として、約 300 年間にわたり異なる土地利用されてきた。入会秣場は第 1 章でみたようにススキ等からなる草原であつたと推定され、こうしたススキ草原が長期間続き、黒色味の強い土壌層位を形成した。1696 年の開拓により、畑地（三富 1）と平地林下（三富 2）とで長期間にわたる異なる土地利用を履歴した。この間、平地林下土壌（三富 2）では、林分および下草があるため風食から守られ、入会秣場時代とほぼ同じく厚い黒色～黒褐色の A 層が観察された。その一方で、畑地（三富 1）においては、耕作が続けられ、約 300 年にわたり風食を受け続けてきた結果、Higuchi & Kashiwagi（1993）の研究で示されたような表層の風食を受け、黒色～黒褐色の A 層は観察されなくなったと考えられた。

第 4 章において、土壌薄片プレパラートの顕微鏡下での観察および EPMA マッピングの結果から、三富 1 で観察された暗褐色の coating 物質が褐色の粒子を被覆する構造

を有する特徴的な粒子 (DBC peds) の存在が新たに明らかとなった。被覆 (coating) ペドフィーチャーに関しては、英国南部において、石英粒子を包含する非常によく発達した “snowball” structure が報告されている (Rose et al. 2000)。Rose ら (2000) は、“snowball” structure の積層構造は、水成および風成シートの両方から形成されていることを指摘し、この連続積層は、植生のない地表面 (裸地) の存在と一連の土壌破壊を示唆しているとした。更にこれらは、冬の粘着性を持った湿った表面へのシルトの蓄積、および春から初夏にかけての水流が活発になる時期のフローによって形成された砂の積層という季節的な変動が反映された可能性があり、風および水の季節変動が土壌微細構造に与える影響について指摘した。こうした季節的な気候・気象面での変動は、三富新田においても、冬期から春期にかけては畑地表面が裸地化し、乾燥するとともに、特に  $10 \text{ m s}^{-1}$  を超える強風の日には激しい風食に見舞われる季節的な変動がある点で共通しており、DBC peds の形成に影響している可能性があると考えられる。

有機物資材の施用がどのようなメカニズムで土壌肥沃度維持に貢献しているのについては未解明の部分が多く、従来の堆きゅう肥に都市系の有機性廃棄物などが加わり有機物資材の種類が増加しており、施用効果の解析を一層困難にしている (坂本, 1998) とされる。坂本 (1998) は、微生物バイオマスと土壌窒素肥沃度に関する研究において、調査圃場に施用された有機物資材の C/N 比について、稲わら : 57.8, 麦わら : 48.6, 落葉 : 36.3, コーン : 33.7, 牛ふん : 11.5, 汚泥 : 10.9, 豚ふん : 10.1, と報告した。三富新田の平地林の落ち葉の C/N 比は 41.1 (表 2-2) であり、上記の報告同様に C/N 比が大きく、炭素の比率が高い。さらに坂本 (1998) は、作物残渣およびその堆肥化物のように炭水化物含量が多い資材は主に糸状菌バイオマス量を増大させ、家畜ふん、下水汚泥およびその堆肥化物のように粗タンパク含量が多い資材は糸状菌および細菌バイオマス量の両方を増大させる傾向が認められ、施用される有機物資材

の種類，とりわけ含まれる易分解性有機物の組成は，バイオマスの構成フロラに強い影響を与えられると思われる，と論究した。

三富新田は，入会秣場という草地植生地が開発された場所である。畑地においては，特に冬季から春季にかけては季節風が強く，作物がなく裸地化しているため，黒色～黒褐色の A 層は激しい風食が進行し，暗褐色の B 層に近い層位が出現するに至ったと推定される。肥料に乏しい時代には生産力の低い土壌とされてきた黒ボク土上に三富新田は位置しており，営農を行っていくための肥料分として，平地林由来の落ち葉 (C/N 比：41.6) を採取し，発酵・熟成させ (炭酸ガスを放出させ)，より C/N 比の低い落ち葉堆肥化し (C/N 比：19.1)，易分解性有機物を畑地に鋤き込むことで作物生産のため土壌肥沃度発現を図ってきた。自然土壌の黒ボク土で DBC peds の事例報告はなく，耕作を行っている畑地土壌の黒ボク土では DBC peds 例がみられた (4-3-4 節) ことから，累次の風食により暗褐色の B 層的となった畑地を耕し，落ち葉堆肥の鋤き込み (物理的な耕作) という人為が加わることで，DBC peds が形成された可能性があると考えられた。DBC peds 表層は，炭素に富み有機物含量が高いものが被覆し，粒径が大きくなっていた (4-3-3 節)。

このように，平地林由来の落ち葉堆肥の調製・鋤き込みという人為，およびその人為により土壌肥沃度を発現し作物生産，しかしながら作物がなく裸地化する冬季から春季にかけての風食により土壌肥沃度減少，したがって風食季の後には平地林由来の落ち葉堆肥の調製・鋤き込みという人為，との繰り返しにより，風食環境下において土壌肥沃度を発現させ作物生産を行う平地林-畑地連関システムの特徴的な存在が，DBC peds であると考えられた (図 5-5)。

### 5-3 環境保全型農業としての伝統的な平地林由来の落ち葉堆肥長期連用農法

土壌肥沃性を構成する窒素 (N) は、食料生産に不可欠な肥料要素の一つであり、人類の窒素利用に起因する環境影響は、土壌、水、大気を含むすべての環境媒体に及ぶ (林ら, 2022). N の元を辿れば、全て大気中の窒素分子 ( $N_2$ ) に行き着き、反応性窒素 (reactive nitrogen, Nr) は、 $N_2$  以外の生物が利用可能な窒素化合物の総称とされる (Galloway et al. 2003).  $N_2$  からアンモニア ( $NH_3$ ) を生合成する生物学的窒素固定 (biological  $N_2$ -fixation, BNF) が出来るごく一部の微生物を除き、全ての生物は Nr 無しに生きることは出来ないことから、人間による Nr 管理は、地球上の全ての生命活動の持続可能性に強く影響する (江口, 2022).

N 循環の人為的攪乱は、気候変動および生物多様性の損失と並び、既に人間が制御可能な範囲 (地球の限界: planetary boundary) を超えたと報告されている (Rockström et al., 2009). また、人為的プロセスによる「新しい」Nr 生成の 75% 以上は食料生産を目的としたものであり、食料生産～消費システム (フードシステム) における Nr 負荷削減は、地球規模での喫緊の課題となっている (江口, 2022). 地球上の Nr プールをこれ以上増大させないため、人為による「新しい」Nr 生成を極力減らし、既に地球上に大量に存在する「古い」Nr (家畜糞尿, 食品廃棄物, 作物残渣, 土壌有機物等に含まれる Nr) を如何に効率的に循環利用するか、が強く問われている (江口ら 2018). 化学肥料による「新しい」Nr を使用せず、堆肥等に含まれる「古い」Nr と生物学的窒素固定 (biological  $N_2$ -fixation, BNF) による「新しい」Nr を最大限に有効活用する有機農業は、地球上の Nr プールを出来るだけ増大させないという点 (地球規模での Nr 負荷削減の観点) では、間違いなく環境保全的 (持続可能) な農業と言える (江口, 2022).

農林水産省統計情報「グラフと統計でみる農林水産業 埼玉県三芳町」(農林水産省, 2023a) によれば、埼玉県三芳町で「販売を目的とした農畜産物の作付・飼養状況」に

において、ほうれんそうの農業経営体が最も多い。実際に、三富新田周辺の三芳町では、ほうれんそうを中心とする葉菜類の周年栽培が多くみられる。これは、鮮度という商品特性から、首都近郊 30km 圏に位置する三芳町の農業生産にとって有利であるためと考えられる。「主要作物施肥基準」（埼玉県農林部農業支援課，2018）によれば、窒素の施肥基準は、ほうれんそう（春まき）では 11 kg/10a，ほうれんそう（秋まき）では 20 kg/10a とされており、ほうれんそう栽培において、同基準どおりに化学肥料により施肥され、周年栽培された場合、31 kg/10a の「新しい」Nr が畑地に施用されたと推定される。

三富新田で展開されている伝統的な平地林由来の落ち葉堆肥活用農法においては、2－4 節において記載のとおり、本調査に協力いただいた農家では、サツマイモ栽培のために、年間約 3-5 t ha<sup>-1</sup> (300-500 kg/10a) の落ち葉堆肥（全炭素 345.6 g kg<sup>-1</sup>，全窒素 18.1 g kg<sup>-1</sup>，C/N 比 19.1，調製の過程で米ぬかを添加）を施用している。300-500 kg/10a の落ち葉堆肥が施用された場合、窒素として 5.43-9.05 kg/10a の「古い」Nr が施用されたこととなる。

三富新田で展開されている伝統的な平地林由来の落ち葉堆肥活用農法においては、「チッソ分が多いとつるぼけになり、いもの肥大が悪い」（農林水産省，2023b）ことから窒素分の多肥が推奨されないサツマイモが、開拓初期より栽培作物として選択されている。また、施用窒素量は、周辺農地で広く栽培されているほうれんそうの場合と比べ、約 18-29% 程度と少ないことが推測された。さらに、施用された窒素は、化学肥料由来の「新しい」Nr でなく、堆肥等に含まれる「古い」Nr を最大限に有効活用している点において、三富新田で展開されている伝統的な平地林由来の落ち葉堆肥活用農法は、環境保全的な農業と考えられた。

#### 5-4 サステイナブルな里地里山ー三富新田

農業は、農地の開墾、水の収奪的利用、農薬の使用、栄養塩類循環の改変等により、生物多様性を失わせる原因となりうる (Foley et al., 2011). その一方で、生物多様性により農業が支られてきた (Balvanera et al., 2014) 側面もあり、生物多様性を支えることが可能な里地里山の伝統的な農業活動に注目が集まってきた。

調査対象地である三富新田は、「埼玉県指定旧跡」および「ふるさとの緑の景観地」(埼玉県 2022) であり、「重要里地里山」に指定されている (環境省 2022). また、「にほんの里 100 選」にも選定 (森林文化協会 2022) されている等、歴史的にも、景観および緑地環境の観点からも重要性が認められている。さらに、同地で展開されている農業は、農林水産省より「武蔵野の落ち葉堆肥農法」として日本農業遺産に認定され (農林水産省 2022), 農業の点からも意義が認定されている。

国内では、歴史的、景観的、緑地環境的、および農業的観点から重要とされている三富新田であるが、サパ=西アフリカの人たちを支援する会が、ギニア国ウオレア村で実施するプロジェクトにおいて、「300 年以上前に水もない不毛に近い地区を独特の手法で開墾し 6~10 年で見事自立した三富新田の史実を活動のモデル」(日本経団連自然保護協議会 2006) とした事例紹介され、グローバルな側面もある。

アグロフォレストリーは、木質永年性植物 (樹木、灌木、ヤシ等) が農業体系と融合した土地利用体系に対する集合的呼び名である (FAO 2005). ブラジル・アマゾンの日本人移住地でのコショウ栽培は有名であるが (小野 1974), 同地の CAMTA (トメアス総合農業協同組合) と民間企業が連携したコショウと果樹からなるアグロフォレストリー事例 (<https://www.frutafruta.com/agroforestry/agroforestry.html>) もみられる等、アグロフォレストリーには、家庭菜園、移動耕作、灌木休閒系のような多くの慣行的土地利用が含まれるとされている (FAO 2005). 翻って、三富新田での農法は、

「平地林由来の落ち葉を，落ち葉堆肥として調製し，畑地に投入し，土壤肥沃性を発現させる平地林－畑地連関システム」と言及したが，この農法は，落ち葉生産の平地林(三富 2)→落ち葉堆肥作成→落ち葉堆肥施用(三富 1)というフローの，平地林が農業体系と融合した土地利用体系に他ならず，アグロフォレストリーと位置付けられると考えられる。

この「平地林由来の落ち葉を，落ち葉堆肥として調製し，畑地に投入し，土壤肥沃性を発現させる平地林－畑地連関システム（アグロフォレストリー）」は，先人が入会秣場であった採取地を開拓により平地林を育成し，低肥沃度の地を耕地に変えた偉業を，これまで 300 年以上にわたり代々維持・保全してきた時間・空間スケールにより，地域に根付いた農業・景観が展開されるサステイナブルな里地里山が三富新田と行うことができると考えられる。そうしたサステイナブルな里地里山において，その基盤的資源が土壤と考える（図 5-6）。

「地域」に関わる事象を扱う場合には，地理（空間）的拮がり，歴史（時間）的拮がり，そしてそこに息づく生命という三つの要素を考慮しなければならないと考えるが，このように歴史空間の中で様々な生命を育ててきた空間的拮がりとして「地域」をとらえる場合，多くの discipline の知識が必要とされると思われる。土壤という自然史的生成物を考察する際も，多くの discipline が必要とされるのと同様である。ただし，両者ともに，inter-discipline であるには，それぞれの discipline を何らかの形で「総合」する行為がなければならないと思われる。こうした「総合」を目指す方向性は，ペドロロジーの研究にとどまらず，ありのままの現実の課題を扱う場合（例えば地域や開発計画など）に極めて有効と考える。

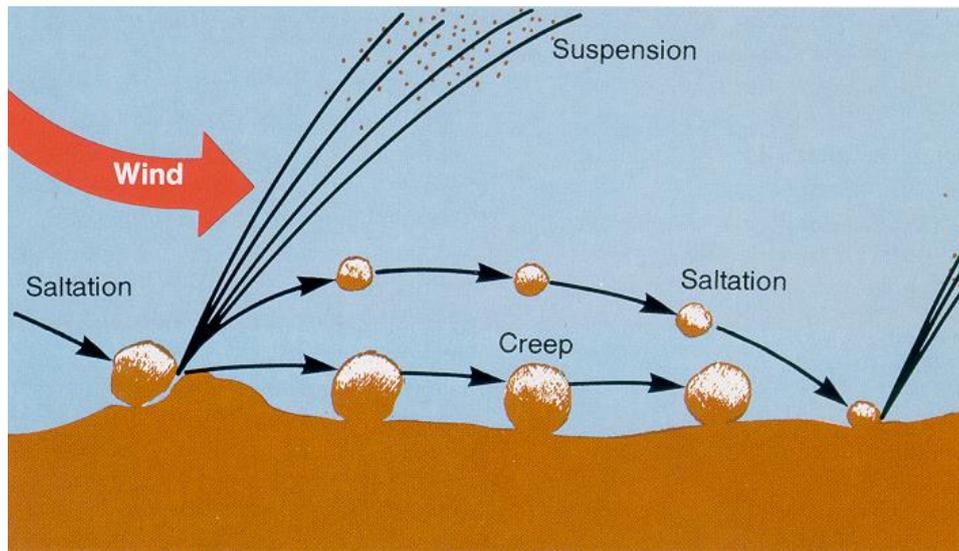


図 5-1 風による土壌侵食

(<https://infosys.ars.usda.gov/WindErosion/weps/wepshome.html>)

(参照 2022-11-07)

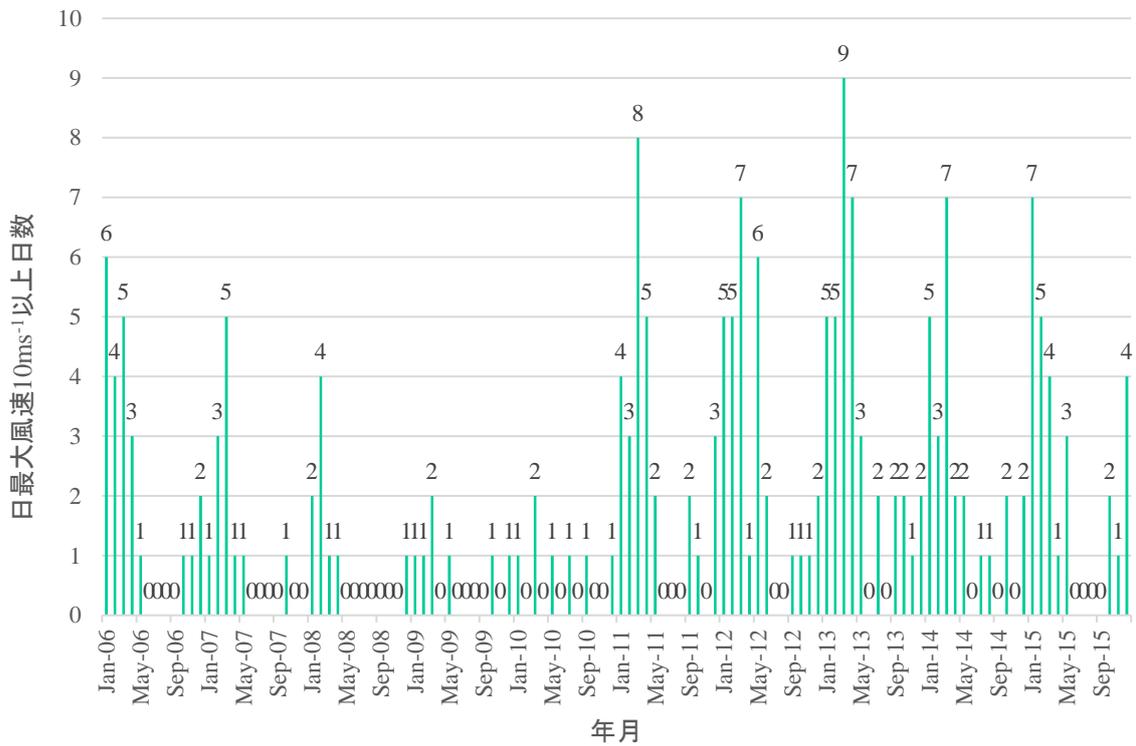


図 5-2 三富新田最寄りの気象観測地点（所沢）における日最大風速 10 ms<sup>-1</sup> 以上の日数（2006～2015 年）（気象庁 HP より作成）

要素	降水量	平均気温	日最高気温	日最低気温	平均風速	風速≥10.0m/s	最多風向	日照率≥40%
	(mm)	(°C)	(°C)	(°C)	(m/s)	(日数)	(風向)	(日数)
統計期間	1991～2020	1991～2020	1991～2020	1991～2020	1991～2020	1991～2020	1991～2020	1991～2020
資料年数	30	30	30	30	30	30	30	30
1月	50.9	3.7	9.1	-0.6	2.5	2.5	北	24.2
2月	47	4.5	10	-0.2	2.7	3.1	北	20.5
3月	98.3	7.8	13.3	2.9	2.8	3.2	北	18.7
4月	110.1	13.1	18.7	7.9	2.7	2.1	北	17.4
5月	125.8	17.8	23.2	13.2	2.4	1.2	南	15.7
6月	166.7	21.2	25.8	17.5	2	0.2	南	9.8
7月	172.4	25	29.8	21.5	1.9	0.2	南	12.1
8月	190.4	26.2	31.3	22.6	2	0.4	南	16.2
9月	233.2	22.4	27	19	2	0.8	北	12.8
10月	212.6	16.8	21.4	13.3	2	0.7	北	14.7
11月	75	11.1	16.2	7.2	2	0.9	北	18.7
12月	47.3	6.2	11.5	1.9	2.2	1.6	北	22.6
年	1529.5	14.6	19.7	10.5	2.3	17.1	北	203

表 5-2 風食形態別 (Wagner 2013)耐水性団粒割合 (三富 1)

耐水性団粒 粒径(mm)	質量分布(%)	マイクロ/マクロ 団粒別	質量分布(%)	風食形態別	質量分布(%)
<b>三富1</b>					
0.1>	29.4	マイクロ団粒 (250 μ m > )	47.9	suspension-size (浮遊) aggregates ( <0.1mm)	29.4
0.25-0.1	18.5			マクロ団粒 ( >250 μ m )	52.2
0.5-0.25	12.4	creep-size (転動) aggregates (0.84~2.0mm)	19.3		
1.0-0.5	18.4	other aggregates (>2.0mm)	8.0		
2.0-1.0	13.4				
>2.0	8.0				

(注) 耐水性団粒粒径画分に 0.84 mm の区分はないため、ここでは、耐水性団粒粒径 0.1~1.0 mm を Wagner (2013)による saltation-size aggregates とした。

表 5-3 風食形態別 (Wagner 2013)耐水性団粒割合 (三富 2)

耐水性団粒 粒径(mm)	質量分布(%)	マイクロ/マクロ 団粒別	質量分布(%)	風食形態別	質量分布(%)
<b>三富2</b>					
0.1>	31.1	マイクロ団粒 (250 μ m > )	43.7	suspension-size (浮遊) aggregates ( <0.1mm)	31.1
0.25-0.1	12.6			マクロ団粒 ( >250 μ m )	56.4
0.5-0.25	12.1	creep-size (転動) aggregates (0.84~2.0mm)	17.6		
1.0-0.5	16.6	other aggregates (>2.0mm)	15.4		
2.0-1.0	12.3				
>2.0	15.4				

(注) 耐水性団粒粒径画分に 0.84 mm の区分はないため、ここでは、耐水性団粒粒径 0.1~1.0 mm を Wagner (2013)による saltation-size aggregates とした。

## 北西の季節風

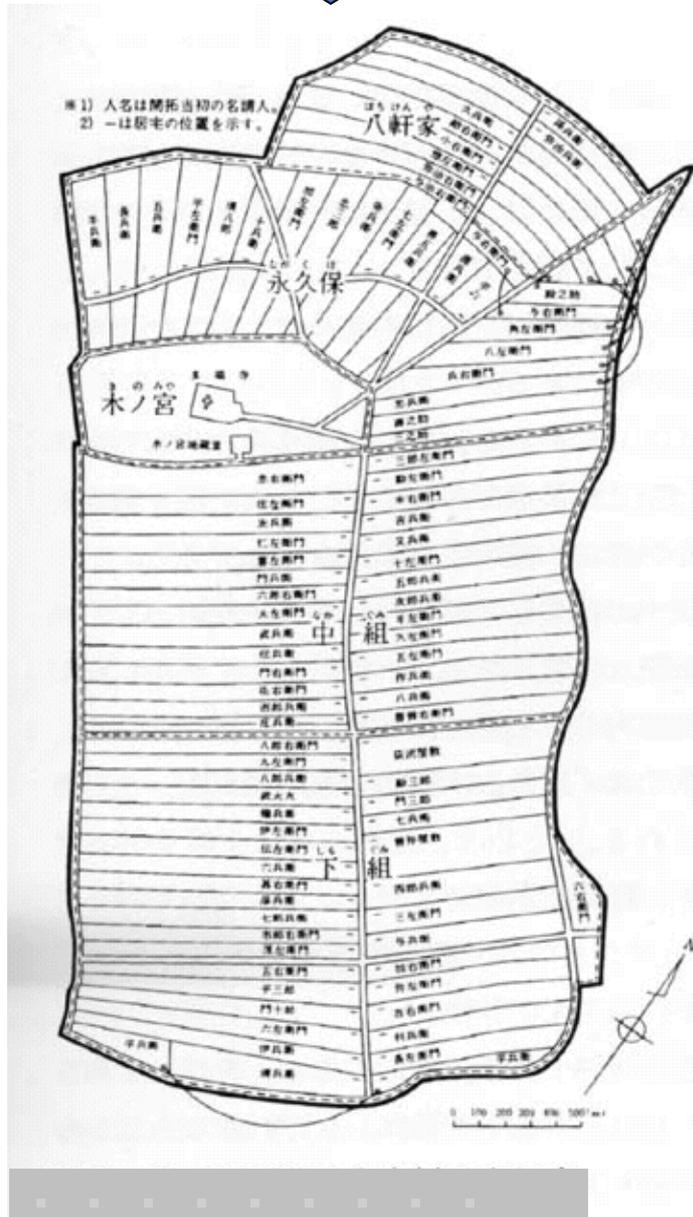


図5-3 開発時の上富村のようす 主に北西方向からの季節風を示す矢印を「三芳町立歴史民俗資料館公式HP」 (<http://www.jade.dti.ne.jp/~miyoshir>) (参照 2022-11-06) 原図に追加した。

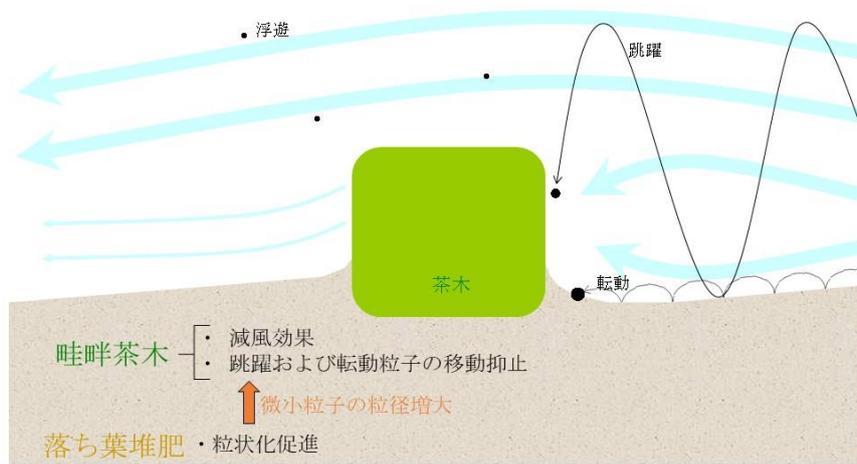
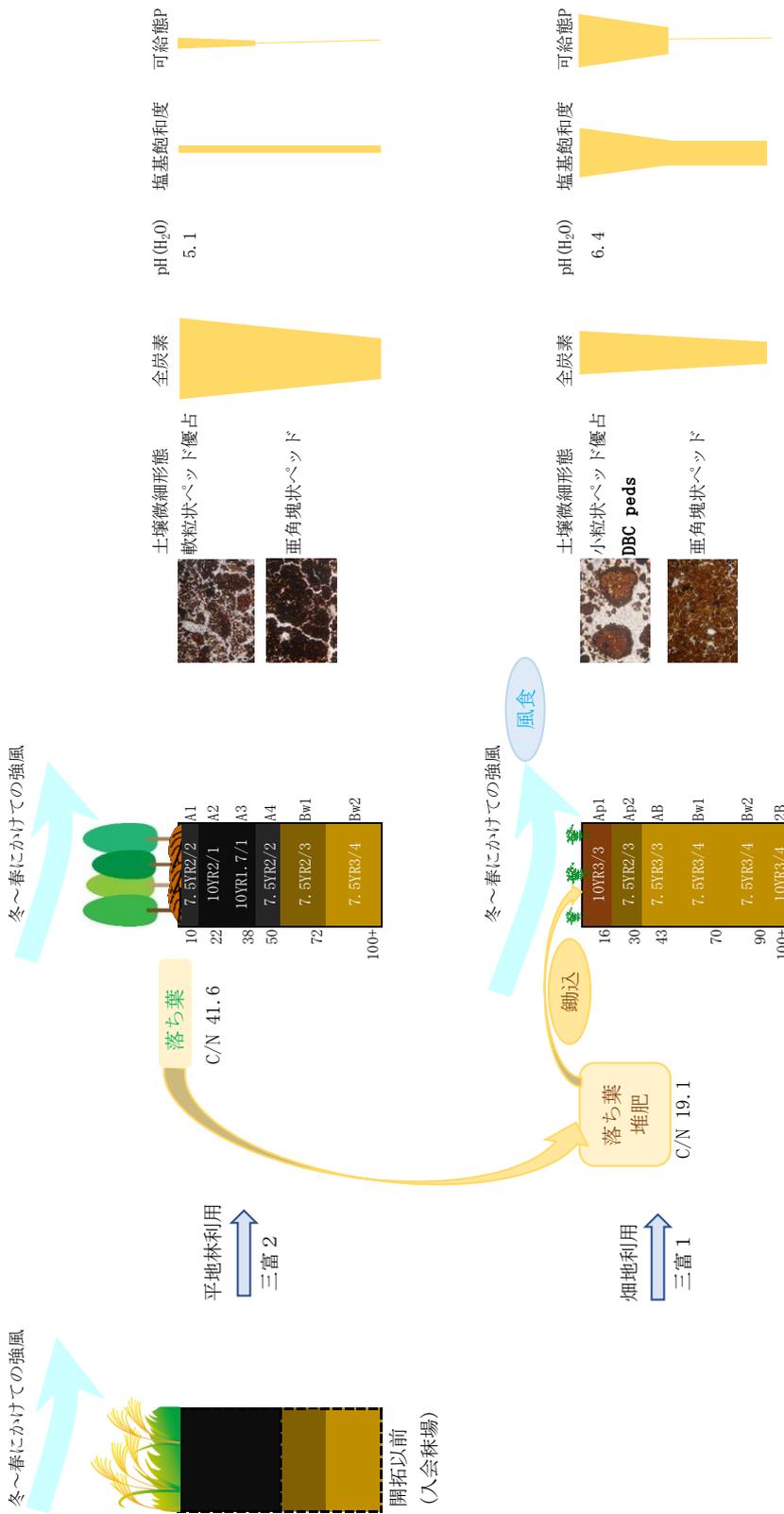


図5-4 三富新田畑地における畦畔茶木と落ち葉堆肥施用による風食抑制  
 (若林正吉博士提供の原図を洪澤が加筆修正)



伝統的な平地林由来の落ち葉堆肥長期連用農法：平地林の落ち葉を採取し堆肥化し鋤込（耕作）する人為、

その人為による土壌肥度発現・作物生産、冬季から春季にかけての激しい風食による土壌肥度減少、との繰り返しにより、

風食環境下において土壌肥度発現させ、作物生産を行う平地林→畑地連関システム、特徴的な存在が、DBC pedis.

図5-5 三富新田開拓以前、ならびに開拓後の平地林土壌（三富2）および畑地土壌（三富1）

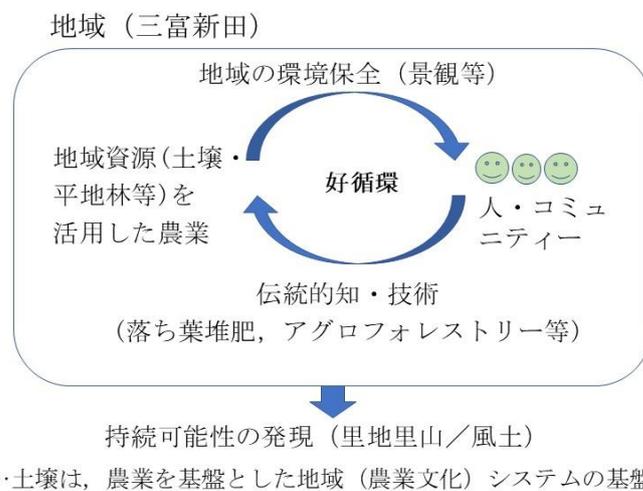


図5-6 土壌は農業を基盤とした地域（農業文化）システムの基盤的資源

## 謝辞

本論文を完成させることができたのは、まさに多くの方々のお力添えがあったからであり、ご協力下さったすべての皆様に、この場を借りて深くお礼申し上げたい。

社会人学生として受け入れて頂き、ご指導下さった筑波大学生命環境系教授 田村憲司博士に、心より感謝の意を表したい。研究時間確保がままならず、仕事との関係で休学を余儀なくされた時期も含め、辛抱強くご指導、叱咤激励頂いたおかげで、何とか研究を進めることができた。重ねてお礼を申し上げたい。

筑波大学生命環境系教授 林久喜博士には、研究に際しても、また大学連携に関する仕事の面においても、大変丁寧かつ懇切なご指導ご鞭撻を頂くことができた。筑波大学生命環境系教授 山路恵子博士におかれては、生物性の観点他で大変有意義かつ温かくご指導ご助言をいただいた。筑波大学生命環境系助教 浅野眞希博士には、実験の実際や諸々のご相談等をさせて頂き、有益かつ的確なご指導ご助言を頂いた。論文の細部にわたりご助言いただきました副査の先生方に、心より感謝申し上げたい。

独立行政法人国際協力機構筑波センター研修指導者杉山博信博士（前 新潟大学教授）には、本研究開始にあたり大いなる励ましを頂いたほか、折に触れ叱咤激励下さり、ご指導ご鞭撻頂いたことに深謝申し上げたい。同研修指導者梅宮善章博士（前 果樹試験場土壌研究室長）に於かれては、土壌化学性分析に際し、実験室にて懇切かつ熱心なご指導ご支援を賜った。厚く御礼申し上げます。

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター 若林正吉博士には、風食に関する資料を提供頂き、厚く御礼申し上げます。

小林猛也 埼玉県川越農林振興センター管理部三富農業・平地林活用担当部長（当時）には、300年という長期にわたり平地林由来の落ち葉堆肥を施用されている農家を紹介頂き本調査を実施することができた。厚くお礼申し上げます。

東京自然史研究機構 細野衛先生には、武蔵野の地形・地質に関する論文、貴重な資料等をご恵贈頂き、研究遂行に際し励ましを頂いた。

本研究は、作物のある畑地等にて調査を行うことを快くご了解下さったり、ヒアリングの時間をとって頂いたり、諸々厭わずご対応下さった三芳町の農家をはじめ関係の皆様方のご協力なくして進めることができなかった研究であり、ご協力ご支援下さった関係の皆様、この場を借りて心よりお礼を申し上げたい。

振り返ってみれば、学生時代に、土壌学初学者の私に、時間をかけて一次鉱物検鏡・同定の手ほどきをして下さり、ペドロロジーの考え方をご指導下さった故 大羽裕先生、土壌調査・卒論・修論いずれに際しても厳しくかつ温かくご指導下さった故 永塚鎮男先生に、心より感謝の意をお伝えしたい。

最後に、研究を応援してくれた父母と、常に支えてくれた妻に、感謝の言葉を贈りたい。

## 引用文献

- 逢沢峰昭, 乾友恵, 平井英明, 大澤和敏, 池田純子, 大久保達弘. 2013. “北関東の中  
山間地域の農用林における落葉および落葉堆肥生産と水田施用の有効性.” *森林立  
地* 55: 119-126.
- 青山正和. 2010. “土壌団粒—形成・崩壊のドラマと有機物利用—.” 東京: 農山漁村  
文化協会. 173p.
- 朝日新聞. 2017. “首都圏で「砂ぼこり」広範囲に発生 2日午後に確認.” 2017-  
02-03.
- Babel, U. 1975. “Micromorphology of soil organic matter.” in: Geiseking, J.E.  
(ed.) *Soil Components. Volume 1. Organic Components.* New York: Springer-  
Verlag. 369-473.
- Balvanera, P., Siddique, I., Dee, L. 2014. “Linking biodiversity and ecosystem  
services: Current uncertainties and the necessary next steps.” *BioScience*  
64: 49-57.
- Bandick, A.K., Dick, R.P., 1999. “Field management effects on soil enzyme  
activities.” *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1471-1479.
- Bagnold, R.A. 1941. “The physics of blown sand and desert dunes.” London:  
Methuen & Co. Ltd. 336p.
- Blum, W.E.H. 2008. “The role of soil micromorphology in the light of the  
European hematic strategy for soil protection.” in: Kapur, S., Mermut, A.,  
Stoops, G. (ed.) *New Trends in Soil Micromorphology.* Berlin Heidelberg :  
Springer-Verlag. 1-4.
- Blume, H.P., Leinweber, P. 2004. “Plaggen soils: landscape history, properties,

- and classification.” *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167: 319-327.
- Brancier, J., Cammas, C., Todisco, D., Fouache, E. 2014. “A micromorphological assessment of anthropogenic features in pre-Columbian French Guiana dark soils (FGDS): first results.” *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 58.
- Brewer, R. 1964. “Fabric and Mineral Analysis of Soils.” New York: John Wiley & Sons. 470p.
- Brundtland, G.H. 1987. “Our common future.” Brussels: World Commission on Environment and Development. 383p.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., Babel, U. 1985. Handbook for Soil Thin Section Description. England: Waine Research Publications. 152p.
- Bünemann, E.K., Bongio, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., Van Geeningen, J.W., Brussard, L. 2018. “Soil quality - a critical review.” *Soil Biology and Biochemistry* 120: 105-125.
- カーター, V.G, デール, T, 山路健 訳. 1995. “土と文明.” 東京: 家の光協会. 332p
- Dathe, A., Eins, S., Niemeyer, J., Gerold, G. 2001. “The surface fractal dimension of the soil-pore interface as measured by image analysis.” *Geoderma* 103: 203-229.
- 土壤環境分析法編集委員会. 1997. “土壤環境分析法.” 東京: 博友社. 427p.
- Driesen, P., Deckers, J., Spaargaren, O. 2001. “Lecture notes on the major soils of the world, World soil resource reports.” Rome: FAO. 340p.

- Edmeades, D.C. 2003. “The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review.” *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66:165-180.
- 江口定夫. 2022. “窒素循環から見た健康な食と有機農業の密接な関係.” *有機農業研究* 14: 44-48.
- 江口定夫, 柴田英昭, 種田あずさ, 新藤純子, 松本成夫, 森 昭憲, 中島泰弘, 朝田 景, 志村もと子, 林健太郎, 中辻敏朗. 2018. “食料生産～消費過程における窒素利用効率と環境への窒素負荷—消費者影響の重要性と活用方向—.” *日本土壌肥料学雑誌* 89 : 249-259.
- Eivazi, F., Tabatabai, M.A., 1990. “Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils.” *Soil Biology and Biochemistry* 22: 891-897.
- 江島一浩. 1976. “地力培養技術の農業経営からの検討.” 小倉武一・大内力編「日本の地力」. 東京：お茶の水書房. 387p.
- EU. 2022. Farm to Fork Strategy. [https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f\\_action-plan\\_2020\\_strategy-info\\_en.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf) (参照 2022-11-12)
- FAO. 2005. “The importance of soil organic matter -Key to drought-resistant soil and sustained food production.” Rome: FAO. 78p.
- FAO. 2022a. Conservation agriculture. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/en/> (参照 2022-11-12)
- FAO. 2022b. Agroecology Knowledge Hub. <https://www.fao.org/agroecology/overview/en/> (参照 2022-11-12)
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A. 2011. “Solutions for a cultivated planet.” *Nature* 478: 337-342.

- French, C. 2005. "Geoarchaeology in action: studies in soil micromorphology and landscape evolution." London: Routledge. 320p.
- 藤原 俊六郎, 安西 徹郎, 小川 吉雄, 加藤 哲郎. 2010. 新版土壌肥料用語事典第 2 版. 東京: 農文協. 304p.
- 外務省 . 2022. 第 8 回 ア フ リ カ 開 発 会 議 (TICAD8).  
[https://www.mofa.go.jp/mofaj/afr/af2/page24\\_001517.html#:~:text=%E3%82%A2%E3%83%95%E3%83%AA%E3%82%AB%E9%96%8B%E7%99%BA%E4%BC%9A%E8%AD%B0%EF%BC%88TICAD%EF%BC%89,-%E7%AC%AC8%E5%9B%9E&text=2022%E5%B9%B48%E6%9C%8827,%E5%BE%8C%E6%8A%BC%E3%81%97%E3%81%97%E3%81%A6%E3%81%84%E3%81%8D%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82](https://www.mofa.go.jp/mofaj/afr/af2/page24_001517.html#:~:text=%E3%82%A2%E3%83%95%E3%83%AA%E3%82%AB%E9%96%8B%E7%99%BA%E4%BC%9A%E8%AD%B0%EF%BC%88TICAD%EF%BC%89,-%E7%AC%AC8%E5%9B%9E&text=2022%E5%B9%B48%E6%9C%8827,%E5%BE%8C%E6%8A%BC%E3%81%97%E3%81%97%E3%81%A6%E3%81%84%E3%81%8D%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82) (参照 2022-11-12)
- Galloway, J. N., Winiwarter, W., Leip, A., Leach, A. M., Bleeker, A., Erisman, J. W. 2014. "Nitrogen footprints: past, present and future." *Environmental Research Letters* 9: 115003.
- Giller, K.E., R. Hijbeek, J.A. Andersson, and J. Sumberg. 2021. Regenerative Agriculture: An Agronomic Perspective. *Outlook on Agriculture* 50: 13-25.
- グリッグ, D., 山本正三・手塚章・村山祐司 訳. 2001. "農業変化の歴史地理学." 東京: 二宮書店. 256p.
- Haggar, J., V. Nelson, R. Lamboll, and J. Rodenburg. 2021. "Understanding and Informing Decisions on Sustainable Agricultural Intensification in Sub-Saharan Africa." *International Journal of Agricultural Sustainability* 19: 349-358.
- 林裕昌. 2006. "黒ボク土畑における各種有機物の長期連用が土壌の諸性質に及ぼす影響." 修士論文. 日本: 筑波大学.

- Hayashi, H. Tamura, K., Orimoto, M., Tsukamoto, S., Higashi, T. 2007. [in Japanese] [https://doi.org/10.20710/dohikouen.53.0\\_264\\_2](https://doi.org/10.20710/dohikouen.53.0_264_2)
- 林健太郎, 柴田英昭, 仁科一哉, 種田あずさ, 杉原創, 早川敦. 2022. “持続可能な窒素利用に向けた土壌肥科学の挑戦.” *日本土壌肥科学雑誌* 93: 152-157.
- Higuchi, T. and Kashiwagi, S. 1993. “Changes of soil morphological characteristics and organic matter content after long-term cultivation in Andosols in Musashino plateau, Japan.” *Soil Science and Plant Nutrition* 39: 87-97.
- IAASTD (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development). 2009. *Agriculture at a crossroads - Global report*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8590> (参照 2022-11-12)
- 市川貴大, 市川明日香, 浦川梨恵子. 2010. “里山保全活動における落葉堆肥化一堆肥化年数の違いによる化学・生物的变化と植物生育に及ぼす影響一.” *森林立地* 52: 11-18.
- 今矢明宏. 2018. “日本土壌分類体系における黒ボク土の基本的なコンセプトと分類方法.” *ペドロジスト* 62: 62-72.
- Indrawan, M., Yabe, M., Nomura, H., & Harrison, R. 2014. Deconstructing satoyama -The socio-ecological landscape in Japan. *Ecological Engineering* 64: 77-84.
- 犬井正. 1982. “武蔵野台地北部における平地林の利用形態.” *地理学評論* 55: 549-565.
- 伊藤好一. 2002. “武蔵野の砂風を防いだ狭山茶の垣根.” in: 江戸時代にみる日本型環境保全の源流. 89-92. 東京: 農山漁村文化協会. 282p.
- 石井秀司, 佐藤直樹, 河野元信, 目崎孝昌, 河合潤. 2005. “乾電池 X 線発生装置を用いる米及び米ぬかの蛍光 X 線分析.” *分析化学* 54: 321-324.

- Ivanov, A., Shoba, S., and Krasilnikov, P. 2014. "A pedogeographical view of volcanic soils under cold humid conditions: The commander islands." *Geoderma* 235: 48-58.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K. 2009. "Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes." *Advances in Agronomy* 101: 1-57.
- Jongerijs, A. 1970. "Some morphological aspects of regrouping phenomena in Dutch soils." *Geoderma* 4: 311-331.
- 環境省. 2022. "生物多様性保全上重要な里地里山（重要里地里山）." [https://www.env.go.jp/nature/satoyama/11\\_saitama/n011-3.html](https://www.env.go.jp/nature/satoyama/11_saitama/n011-3.html) (参照 2022-11-12)
- 関東ローム研究グループ. 1965. "関東ローム." 東京：築地書館. 378p.
- 加藤英孝. 2014. "耕盤. 土の百科事典編集委員会編, 土の百科事典." 東京：丸善出版. 570p.
- 加藤衛弘. 2002. "土地の高度利用が生み出した新環境－関東の森林景観の成立." in: 江戸時代にみる日本型環境保全の源流. 115-125. 東京：農山漁村文化協会. 282p.
- 河井宗示. 1969. "火山灰土壌（アンド土壌）の微細形態に関する研究." *農業技術研究所報告. B. 土壌肥料.* 20: 77-154.
- Kawano, T., Sasaki, N., Hayashi, T., Takahara, H. 2012. "Grassland and fire history since the late-glacial in Northern part of Aso Caldera, central Kyushu, Japan, inferred from phytolith and charcoal records." *Quaternary International* 254: 18-27.

- Kemp, R. A., Zárate, M., Toms, P., King, M., Sanabria, J., and Arguello, G. 2006. "Late Quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in the Northern Pampa, Argentina." *Quaternary Research* 66: 119-132.
- 菊地利夫. 1977. "新田開発." 東京: 古今書院. 538p.
- 菊地利夫. 1986. "続・新田開発." 東京: 古今書院. 758p.
- 気象庁. 2022a. "所沢 平年値 (年・月ごとの値)." [http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml\\_amd\\_ym.php?prec\\_no=43&block\\_no=1070&year=&month=&day=&elm=normal&view=](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_amd_ym.php?prec_no=43&block_no=1070&year=&month=&day=&elm=normal&view=) (参照 2022-11-12)
- 気象庁. 2022b. "所沢 平年値 (年・月ごとの値) 詳細(風・日照)." [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml\\_amd\\_ym.php?prec\\_no=43&block\\_no=1070&year=&month=&day=&view=a3](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_amd_ym.php?prec_no=43&block_no=1070&year=&month=&day=&view=a3) (参照 2022-11-12)
- 古島敏雄. 1974. "近世日本農業の構造." 東京: 東京大学出版会. 600p.
- 国土交通省都市局. 2014. "平成25年度 集約型都市形成のための計画的な緑地環境形成実証調査 都市の命と暮らしを支える 三富平地林の伐採と活用に関する実証調査 (三富平地林保全活用協議会) 報告書." <https://www.mlit.go.jp/common/001059624.pdf> (参照 2022-11-12)
- 国際農林水産業研究センター. 2022. 健全な土壌とアフリカの食料安全保障 ―環境再生型農業の可能性―. <https://www.jircas.go.jp/ja/event/2022/e20220805> (参照 2022-08-30)
- 久保寺秀夫, 山田一郎. 1997. "九州に分布するテフラ由来土壌の硬化特性 (2) 「ニガ土」の硬化, 収縮, 碎易化特性ならびに微細形態." *ペドロジスト* 41: 32-41.
- Kubotera, H., Yamane, T., Wakiyama, Y., Arakawa, Y. 2016. "Long-term temporal changes in micromorphology of cattle manure compost pellets mixed with soils." *Journal of the Japanese Society of Soil Physics*, 134: 5-13.

- 国木田独歩. 1949. “武蔵野.” 東京：新潮社. 344p.
- Lal, R. 2009. “Soils and food sufficiency: A review.” in: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C. (eds.) Sustainable Agriculture. 113-133. Dordrecht, Heidelberg, London and New York: Springer. 919p.
- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C., Ménassieu, J. 2009. “Agronomy for Sustainable Agriculture: A Review.” in: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C. (Eds.). Sustainable Agriculture. 1-7. Heidelberg, London and New York: Springer, Dordrecht. 919p.
- Macedo, RS., Teixeira, WG., Correa, MM., Martins, GC., Vidal-Torrado, P. 2017. “Pedogenetic processes in anthrosols with pre-terrestrial horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil.” *PLoS One* 12(5): e0178038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178038>.
- Macphail, R. I., Courty, M. A., & Gebhardt, A. 1990. “Soil micromorphological evidence of early agriculture in north - west Europe.” *World Archaeology* 22: 53-69.
- 松本富雄. 1997. “三富新田－武蔵野台地に開られた畑作農業文化－.” *圃場と土壌* 29: 33-44.
- Mhindu, R.L., Wuta, M., Ngorima, E. 2013. “Composting of selected organic wastes from peri-urban areas of Harare, Zimbabwe.” *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2: 1-12.
- 宮脇昭・奥田重俊・井上香世子・堀田一弘・佐々木寧・鈴木邦雄・飯野和子・藤原一絵・夏目節子. 1973. “埼玉県南東部の植生.” さいたま：埼玉県. 86p.

- 水本邦彦. 2003. “草山の語る近世.” 東京：山川出版社. 99p.
- 三芳町 2022: 埼玉県指定旧跡「三富新田」  
<https://www.town.saitama-miyoshi.lg.jp/kanko/rekishi/santomeshinden.html>  
(参照 2022-11-12)
- 三芳町. 2014. 三富新田を世界へ. [miyoshi\\_koho\\_201408\\_P08-09.pdf \(saitama-miyoshi.lg.jp\)](#) (参照 2022-11-12)
- 三芳町史研究会. 1986. “三芳町史.” 東京：第一法規出版. 587p.
- 守山弘. 1997. “むらの自然を生かす.” 東京：岩波書店. 160p.
- 永塚鎮男. 2014. “土壌生成分類学 改訂増補版.” 東京：養賢堂. 402p.
- 永塚鎮男, 田村憲司. 1986. “植物 — 土壌系の研究に対する土壌微細形態学の応用 — 土壌薄片作成法の改良.” *日本生態学会誌* 36: 163-168.
- Nakatsuka, H., Tamura, K. 2016. “Characterisation of soils under long-term crop cultivation without fertilisers: a case study in Japan.” *SpringerPlus*, 5: 1-22.
- 中澤努, 遠藤秀典. 2002. “地域地質研究報告 大宮地域の地質.” つくば：産総研地質調査総合センター. 41p.
- NARO. 2019. “Climate Smart Agriculture for the Small-Scale Farmers in the Asian and Pacific Region.” Edited by Shirato, Y and Hasebe, A. Tsukuba: NARO. 347p.
- Nezomba, H., Mtambanengwe, F., Rurinda, J., & Mapfumo, P. 2018. “Integrated soil fertility management sequences for reducing climate risk in smallholder crop production systems in southern Africa.” *Field Crops Research* 224: 102-114.
- 日本経団連自然保護協議会. 2006. “日本経団連自然保護協議会だより.” No. 36.

- 日本ペドロジー学会. 1997. “土壌調査ハンドブック.” 東京：博友社. 169p.
- 農研機構. 2022. “日本土壌インベントリー.” <https://soil-inventory.rad.naro.go.jp/figure.html?lat=35.831886&lng=139.499068&zoom=15>  
(参照 2022-11-12)
- 農林水産省. 2016. “環境保全型農業の推進について.” [https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/pdf/suisin\\_280401\\_part1.pdf](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/pdf/suisin_280401_part1.pdf) (参照 2022-11-12)
- 農林水産省. 2020. “農村政策を中心とした戦後農政の流れ.” [https://www.maff.go.jp/j/study/nouson\\_kentokai/attach/pdf/farm-village\\_meeting-3.pdf](https://www.maff.go.jp/j/study/nouson_kentokai/attach/pdf/farm-village_meeting-3.pdf) (参照 2022-11-12)
- 農林水産省. 2022. “環境保全型農業関連情報.” [https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/index.html](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/index.html) (参照 2022-11-12)
- 農林水産省. 2023a. “グラフと統計でみる農林水産業 埼玉県三芳町.” <http://www.machimura.maff.go.jp/machi/contents/11/324/index.html> (参照 2023-01-31)
- 農林水産省. 2023b. “野菜栽培技術指針 根菜類.” [https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/attach/pdf/aki3-7.pdf](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/attach/pdf/aki3-7.pdf) (参照 2023-01-31)
- 農山漁村文化協会. 2020. “最新農業技術土壌施肥 vol. 12.” 東京：農山漁村文化協会. 254p.
- 大羽 裕, 永塚 鎮男. 1988. “土壌生成分類学.” 東京：養賢堂. 338p.
- 岡島秀夫. 1976. “土壌肥沃度論.” 東京：農山漁村文化協会. 235p.
- 大政正隆. 1951. “ブナ林土壌の研究.” *林野土壌調査報告* 1:1-243.

- 小野功. 1974. “トメアスーにおける胡椒生産の展開と最近の動向.” *熱帯農業* 18:223-227.
- 大村裕顕, 早野恒一. 1982. “土壌の $\beta$ -グルコシダーゼ活性に及ぼす pH の影響.” *日本土壌学肥料雑誌* 53: 57-59.
- Panin, P.G., Timireva, S.N., Morozova, T.D., Kononov, Y.M., Velichko, A.A. 2018. “Morphology and micromorphology of the loess-paleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1-MIS 17).” *Catena* 168: 79-101.
- Papadopoulos, A., Bird, N.R.A., Mooney, S.J., Whitmore, A. 2008. “Fractal analysis of pore roughness in images of soil using the slit island method.” *Vadose Zone Journal* 7: 456-460.
- Pires, L. F., Borges, J. A., Rosa, J. A., Cooper, M., Heck, R. J., Passoni, S., & Roque, W. L. 2017. “Soil structure changes induced by tillage systems.” *Soil and Tillage Research* 165: 66-79.
- Pulleman, M. M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J. C. Y., & Jongmans, A. G. 2005. “Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils.” *Applied Soil Ecology* 29: 1-15.
- Reganold, J. P., and Wachter, J. M. 2016. “Organic agriculture in the twenty-first century.” *Nature Plants* 2: 1-8.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S. III, Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., De Wit, C.A., Hughes, T., Van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen,

- P. and Foley, J. 2009. “Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity.” *Ecology and Society* 14: 32.
- Rose, J., Lee, J.A., Kemp, R.A., Harding, P.A. 2000. “Palaeoclimate, sedimentation and soil development during the last glacial stage (Devensian), Heathrow airport, London, UK.” *Quaternary Science Reviews* 19: 827-847.
- Rumpel, C., Kögel-Knabner, I. 2011. “Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle.” *Plant and Soil* 338:143-158.
- 三枝正彦. 2014. “有効土層. 土の百科事典編集委員会編, 土の百科事典.” 東京: 丸善出版. 570p.
- 埼玉県. 2022a. “(三富地域) 農業と環境の概要.” <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0108/908-20091216-182.html> (参照 2022-11-12)
- 埼玉県. 2022b. “三富地域の位置.” <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0108/908-20091216-189.html> (参照 2022-11-12)
- 埼玉県農林部農業支援課. 2018. “主要農作物施肥基準.” <https://www.pref.saitama.lg.jp/documents/20041/sehikijyunnh30kaisei.pdf> (参照 2023-01-31)
- 坂本一憲. 1998. “微生物バイオマスと土壤窒素肥沃度.” *土と微生物* 51: 35-47.
- 櫻本直美. 2013. “土壤の生物性評価法「土壤微生物多様性・活性値」について.” *計測と制御* 52: 679-683.
- 三富史蹟保存会. 1929. “三富開拓誌.” 埼玉三芳: 三富史蹟保存会. 156p.
- 佐々木 寛幸, 柴田 昇平, 畠中 哲哉. 1994. “利用目的に応じたシバ (*Zoysia japonica*)の系統評価手法の開発.” *草地試験場研究報告* 49: 17-24.
- 佐々木 寛幸, 小路 敦, 須山 哲男. 1998. “フラクタル解析システム for Windows 95 の開発.” *日本草地学会誌* 44: 394-395.

- Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., Rao, M.A. 2015. “Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems.” *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15: 333-352.
- Sedov, S. N., Solleiro-Robolledo, E., Gama-Castro, J. E. 2003. “Andosol to Luvisol evolution in Central Mexico: timing mechanisms and environmental setting.” *Catena* 54: 495-513.
- 森林文化協会. 2022. “にほんの里 100 選.” [http://www.sato100.com/?page\\_id=127](http://www.sato100.com/?page_id=127)  
(参照 2022-11-12)
- 塩入松三郎. 1960. “日本温帯林地帯土壌生成の過程.” 日本土壌肥料学会講演要旨集 6: 68.
- 庄子貞雄. 1984. “黒ボク土 その今日的課題を探る.” *化学と生物* 22: 242-250.
- Sombroek, W.G. 1985. “Preface.” in: Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., Babel, U. Handbook for Soil Thin Section Description. England: Waine Research Publications. 152p.
- Stoops, G. 2007. “Micromorphology of soils derived from volcanic ash in Europe: a review and synthesis.” *European Journal of Soil Science* 58: 356-377.
- Stoops, G., Gerard, M., Arnalds, O. 2008. “A micromorphological study of Andosol genesis in Iceland.” in: *New Trends in Soil Micromorphology*, edited by Kapur, S., Mermut, A., Stoops, G., 67-89. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag. 276p.
- Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.). 2018. “Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths.” Amsterdam: Elsevier. 720p.

- 杉原重夫, 高原勇夫, 細野衛. 1972. “武蔵野台地における関東ローム層と地形面区分についての諸問題.” *第四紀研究* 11: 29-39.
- 鈴木純, 大澤和敏, 松岡延浩. 2017. “関東甲信地方の風食の特徴とその抑制対策.” *農業農村工学会誌* 85: 649-654.
- 高安 秀樹. 1986. “フラクタル.” 東京: 朝倉書店. 181p.
- Takeuchi, K. 2010. “Rebuilding the relationship between people and nature: the Satoyama Initiative.” *Ecological Research* 25: 891-897.
- 武内和彦・鷺谷いづみ・恒川篤史. 2001. “里山の環境学.” 東京: 東京大学出版会. 257p.
- 田村憲司, 永塚鎮男, 大羽裕. (1993). “黒ボク土の一般理化学性に及ぼす植生遷移の影響.” *日本土壌肥料学雑誌* 64: 183-189.
- 田村憲司. 2011. “CEL97 号 特集 土のある暮らしと文化 土壌に触れ合う環境教育の推進—土壌体認識の重要性—.” 大阪: 大阪ガス(株)エネルギー・文化研究会(CEL). 32-35.
- Tebrügge, F., Düring, R.A. 1999. “Reducing tillage intensity—a review of results from a long-term study in Germany.” *Soil and Tillage Research*, 53: 15-28.
- 寺沢四郎. 1984. “各種のインパクトを受けた土壌の物理性と微細形態の特徴.” *農業技術研究所報告. B, 土壌肥料*  
<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010292728.pdf> (参照 2022-11-06)
- Tshuma, F., Rayns, F., Labuschagne, J., Bennett, J., Swanepoel, P.A. 2021. “Effects of long-term (42 years) tillage sequence on soil chemical characteristics in a dryland farming system.” *Soil and Tillage Research*, 212: 105064.

- 土の百科事典編集委員会, 2014. “土の百科事典.” p390, p427, p444. 東京:丸善出版.
- 土の理工学性実験ガイド編集委員会. 1983. “土の理工学性実験ガイド.” 東京: 社団法人農業土木学会. 217p.
- UN. 1992. “United Nations Conference on Environment & Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992 AGENDA 21.”  
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf> .pdf  
(参照 2022-11-12)
- USDA. 2022. “The Wind Erosion Prediction System.”  
<https://infosys.ars.usda.gov/WindErosion/weps/wepshome.html> (参照 2022-11-06)
- Wagner, L. E. 2013. “A history of wind erosion prediction models in the United States Department of Agriculture: The Wind Erosion Prediction System (WEPS).” *Aeolian Research* 10: 9-24.
- Wall, D.H., Nielsen, U.N., Six, J. 2015. “Soil biodiversity and human health.” *Nature* 528: 69-76.
- 渡邊健史. 2018. “バイオログ in 土壌微生物学.” 東京: 朝倉書店. 208p.
- WHO. 1985. “Health Hazards from Nitrates in Drinking-Water.” Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. 102p.
- 矢嶋仁吉. 1954. “武蔵野の集落.” 東京: 古今書院. 224p.
- 山縣真人, 中山健也, 阿江教治. 1997. “根圏土壌のプロテアーゼ活性の作物比較.”  
*日本土壌肥料学雑誌* 68: 295-300.
- 山田龍雄. 1978. “日本農書全集第 12 巻.” 東京: 農山漁村文化協会. 393p.
- 横山和成. 1996. “土壌微生物群集の多様性評価.” *土と微生物* 47: 1-7.
- 吉田武彦. 1986. “化学の農業及び生理学への応用.” *北海道農業試験場研究資料* 30: 1-152.