Microb. Resour. Syst. **40**(2): 105-116, 2024

総　　説

『天狗の麦飯』と呼ばれる微生物群集の研究史

武藤清明[1)]，王　瓊渓[1)]，阿部敬悦[1)]，矢部修平[2)]*

[1)]東北大学大学院農学研究科　〒980-0845　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
[2)]国立研究開発法人理化学研究所バイオリソース研究センター　〒305-0074　茨城県つくば市高野台 3-1-1

Key words: Tengu-no-mugimeshi, volcano, Ktedonobacteria, edible soil, bacteria

はじめに

日本の火山地帯には厚さ 1 m を超える世界にも類を見ない巨大な生きた微生物マットが存在する．それは「天狗の麦飯」と呼ばれる北部フォッサマグナに位置する浅間烏帽子火山群の岩石に固有に生息する微生物群集である．人が食用に供した歴史をもつことから「食べられる土」とも称される．かつては当該火山群のいたる所に自生しており，たとえば牙山では厚さ 20-200 cm，面積 300 m^2 の広大な「天狗の麦飯」マットが観察されている（中村，1978）．現在は，気候変動や土地利用の変化，あるいは盗掘などの影響で絶滅の危機に瀕している．

古い記録では天保 5 年に成立した『信濃奇勝録』（井出，1886）や嘉永 2 年に刊行された『善光寺道名所図会』（豊田，1849）の中にその記述を見ることができる．これらの文献には，飯縄山の山頂付近の土の中に，麦飯もしくは粟飯のようなものが存在し，手に取ってみると特に匂いはしないが食べることができる，飯縄山の名は飯砂に由来する，といった内容が書かれている（井出，1887；豊田，1849）．また，「天狗の麦飯」という名称については修験者の増田吉蔵が浅間山で見出したものに由来する（川村，1916）．この他にも餓鬼の飯（井出，1887），謙信の味噌・長者味噌（川村，1916），焼けソブ（加藤ら，1934b）など，地域によっていくつかの名称があり，その性状も異なることが記録されているが，多くの学術書では「天狗の麦飯」として扱われている（Molisch, 1926；加藤ら，1934b；高橋，1935；岡田，1939，1942）ことから本稿でも名称を「天狗の麦飯」に統一する．

*Corresponding author
E-mail: shuhei.yabe@riken.jp

本研究は「天狗の麦飯」に関する先行研究を整理することで天然記念物としての文化財的価値とその研究史，先行研究から推定される「天狗の麦飯」の構成微生物とその生態について論じることを目的としている．なお，産地保護の観点から詳細な位置情報については伏せた状態で扱う．

天然記念物としての「天狗の麦飯」と三好　学

「天狗の麦飯」の産地の一つは国の天然記念物に指定されており，長野県小諸市にある「味噌塚」がそれに該当する．この産地は大正 10 年 3 月 3 日の官報に掲載された内務省告示第 38 号で天然記念物に指定された史蹟 48 件ならびに天然記念物 24 件のなかに含まれている．これ以前に指定されたものは大正 9 年 7 月 15 日の天然記念物 7 件だけであることから，史蹟名勝天然記念物保存法の本格的な運用が始まった段階で最初に指定されたものの一つであるといえるだろう．

天然記念物とは三好　学博士がドイツ語の「Naturdenkmal」を日本語に訳したものである（三好，1907）．三好は日本における天然記念物保存事業に対して重要な貢献を果たしている．特に明治 39 年に東洋学芸雑誌で発表された「名木ノ伐滅並ニ其保存ノ必要」において植生や景観の文化的・産業的・学術的な価値を論じて本邦における天然記念物保護の必要性を論じた（三好，1906）ことを端緒として，三好の思想に共鳴した貴族院議員の三宅　秀，田中芳男，阪谷芳郎，徳川頼倫らにより明治 44 年に「史蹟及天然記念物ニ関スル建議案」が貴族院に提出される次第となる（中野，1939；品田，1971）．三好は「史蹟名勝天然紀念物保存法」の成立後も精力的に活動を続け，調査委員として小諸の「天狗の麦飯」産地「味噌塚」の調査を担当し，これを天然記念物に指定するよう推薦をし

ている（三好，1920；小渕，1986）．これについてはおそらく，三好が担当していた東京帝国大学理学部植物学教室の門下生であった乾　　環，草野俊介，服部広太郎および大野直枝らが「天狗の麦飯」を採取し最初期の研究を行っていたことから，三好は彼らを通じて「天狗の麦飯」の存在を知り，その重要性を認識したことで天然記念物指定へと働き掛けたのではないかと思われる．それだけでなく後述する加藤正吉を始めとする国立栄養研究所職員（加藤ら，1934b）や高橋基生（高橋，1935），岡田要之助（岡田，1939，1942）らの研究に協力したことが確認できるほか，東北帝国大学に理学部生物学教室が開設されるに際に植物学科の主任教授としてハンス・モーリッシュの招聘を推薦したとされるなど，本邦における「天狗の麦飯」研究に対しても重要な貢献を果たしている．

「天狗の麦飯」の研究史

1）大野直枝による研究

大野直枝博士は東京帝国大学理科大学植物学科で第二講座を担当する三好　学教授の下で植物生理学を専攻する大学院生であった当時に「天狗の麦飯」に関する最初期の研究を行っている．明治 30 年（1897）の夏に学友であった乾　　環，草野俊介，服部廣太郎が戸隠で採取した乾燥標本を入手するが，このときは試料の量が少なく状態が悪かったため，明治 35 年（1902）9 月に八木貞介氏が黒姫山で採取した標本や，同年 11 月に自身で採取した標本を加えて研究を行っている．大野はこの試料の顕微鏡観察と培養試験の結果を明治 36 年（1903）2 月 28 日に開催された東京植物学会例会で発表しており，このときの講演内容の要旨が明治 36 年 3 月 25 日発行の東京学芸雑誌 20 巻 258 号に収録されている．おそらくこれが本邦における「天狗の麦飯」に関する最初の科学的な研究の記録であると考えられる．しかし大野直枝は「天狗の麦飯」に関する研究を論文として出版することなく大正 2 年（1913）に 38 歳で病により早世してしまう．大野の没後に学友の柴田桂太が大野の残した研究資料を整理しており，これにより大野の残した「天狗の麦飯」に関する論文の草稿と実験ノートが同時期に「天狗の麦飯」研究を行っていた川村多実二へ送られ，川村の手により内容を整理されたうえで植物学雑誌に発表されることとなった．この経緯については遺稿の付記と川村の論文の序文，大野直枝についての伝記から知ることができる（大野，1916；川村，1916；増田，2002）．

大野は「天狗の麦飯」について，主に厚い莢膜をもった特殊な「カプセルバクテリエン」（図 1）によって形成される有機物の塊であるとした．これらの細菌は通常培養基では増殖せず有機物に乏しい培養基上では徐々に増殖することを報告している．大野はこれらの結果を総合してこの「カプセルバクテリエン」は下等藻類から派生した独立栄養を行うものではないかという仮説を提示している（大野，1903，1916）．なお，細菌の形態学における「カプセル（独，kapsel，英，capsule）」は現在では莢膜と訳されるため，本稿では以降「カプセルバクテリエン」に相当する語は莢膜細菌と訳する．

2）川村多実二による研究

川村多実二博士は東京帝国大学理科大学動物学科を卒業し，その後，動物学者として数多くの業績を残した人物である．川村は大学卒業後も大学院においてクダクラゲ類の研究を続けていたが（川村，1908；宮地，1965），大正 1 年（1912）には，当時まだ動物学科が存在していなかった京都帝国大学医科大学の生理学教室に助手として就任した（宮地，1965）．川村は，大正 2 年（1913）に比較生理学の研究を志す際，実兄であり真菌を専門とする理学博士である川村清一が明治 42 年（1909）に黒姫山で採取した「天狗の麦飯」の標本を入手し，これを用いて「天狗の麦飯」の研究を開始したと記している（川村，1916）．さらに，大正 2 年（1913）には恩田経介が浅間山で採取した試料を入手

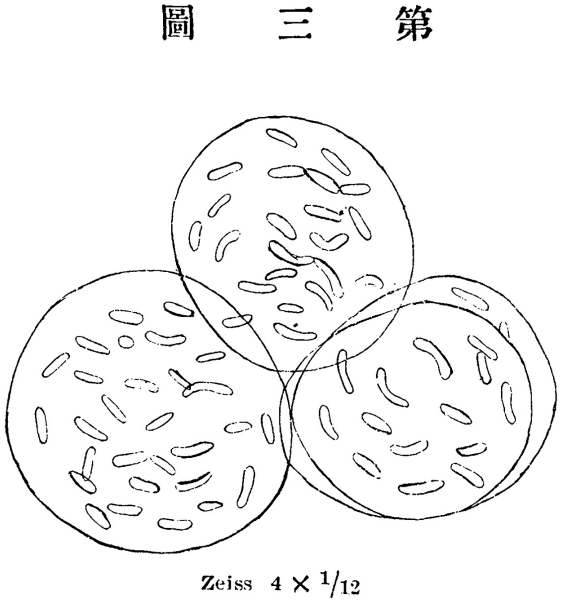

図 1　大野直枝による莢膜細菌のスケッチ（大野，1916）

し，大正 3 年（1914）には自身で長野県内各地の調査を行った．川村はこれらの試料に対して詳細な観察，成分分析，および培養試験を実施し，大正 5 年（1916）に大野の遺稿とともに「天狗の麦飯」に関する詳細な科学研究をまとめた論文を発表している．

川村もまた大野と同様に「天狗の麦飯」は主に厚い莢膜（川村は“包膜”と表現している）をもつ細菌によって形成されていることを記録している（図 2 の 1–9）．さらに，これを培養するために鉄を主体とした特殊培養基を作成し莢膜をもつ細菌の増殖を観察している（図 2 の 14–16）．培養中の形態観察の結果と「天狗の麦飯」に含まれる細菌の形態観察の結果から，これらは同じ細菌の異なる発育段階のものであるとしており，さらにこの細菌は鉄を含む培地で増殖が見られること，既知の鉄細菌と似た形態的特徴をもつこと，「天狗の麦飯」の成分分析では無機成分の 1 割が鉄であることから鉄細菌の一種であるだろうと推定している．川村はこの細菌に近い特徴をもつ既存の 4 属の細菌と比較して，いずれの属とも区別可能な特徴をもつことから新属・新種の *Vulcanothrix silicophila* を提唱している（川村，1916）．ただしこの学名は現在の命名規約の基準を満たしていないため無効名として扱われており，基準株も存在しないため検証不可能である．この他にも，成分分析により無機成分の 7 割が珪素であることや産地の岩石の風化した部分に「天狗の麦飯」が発生していることなどから，珪素を利用可能な珪素細菌である可能性を指摘している．この研究において川村は自身の開発した特殊培養基により莢膜細菌の培養に成功しているが，これ以降の研究において再現されていない．

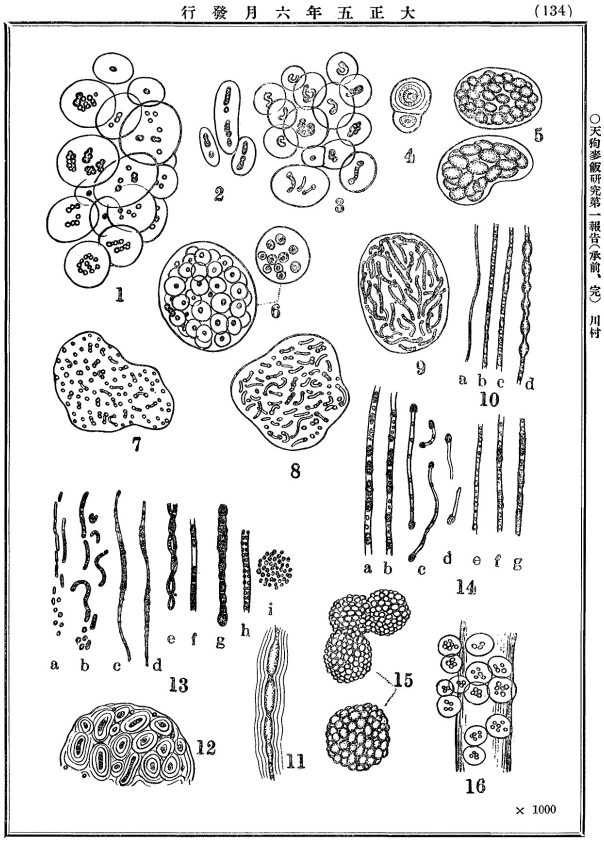

図 2　川村多実二による天狗の麦飯に含まれる微生物のスケッチ（川村，1916）．No. 1–9：天狗の麦飯に含まれる莢膜細菌のスケッチ，No. 10：天狗の麦飯に含まれる糸状細菌のスケッチ，No. 11, 12：天狗の麦飯に含まれる細菌に希硫酸等を滴下したときに観察される莢膜の同心円状の構造，No. 13：肉汁ペプトン等の普通培地による培養で観察された細菌，No. 14, 15：川村が作成した特殊培養基による培養中に観察された細菌，No. 16：特殊培養基に浸した綿の繊維に付着した細菌

3）ハンス・モーリッシュによる研究

ハンス・モーリッシュ博士は東北帝国大学理学部に新設された生物学科植物学教室の主任教授としてオーストリアから招聘された人物である．モーリッシュは 1923–1925 年の日本滞在中に数多くの生物について調査研究をしており，そのなかの一つとして「天狗の麦飯」についての研究を行っている．モーリッシュは川村から「天狗の麦飯」の試料の一部を譲り受けて研究を行ったが，これは 1915 年に採取されたものであるため生きた状態ではないと思われると記している（Molisch, 1926）．

モーリッシュによる顕微鏡観察の結果もまた「天狗の麦飯」を主に形成しているのは厚い莢膜をもつ細胞であることを記録している．モーリッシュは大野と川村の先行研究の要約を紹介したうえで，自身の顕微鏡観察の結果から「天狗の麦飯」に観察される厚い莢膜をもつ細胞は主に *Gloeocapsa* 属や *Gloeothece* 属の藍藻であるという見解を述べている．さらに「天狗の麦飯」の試料をドイツの藻類分類学の専門家であるストックマイヤーに送り鑑定を依頼しており，こちらでも藍藻であるとしてモーリッシュの見解を支持するものであった．モーリッシュは以上の結果を踏まえて，「天狗の麦飯」は数種の藍藻が優占し，それ以外の真菌類や原生生物および土壌動物などがほとんど見られない有機物の塊であると結論づけている．

4）加藤，井上，掛川，鶴園による研究

栄養研究所所長である佐伯　矩博士が「天狗の麦飯」に栄養学的な関心を抱いたことから，栄養研究所の加藤正吉技師，井上憲政技手，掛川俊二技手，鶴岡亀助工手らがその調査・研究に従事した．この研究には，三好　学博士と川村多実二博士の協力もあったことが記されている（加藤ら，1934b）．加藤らによる一連の研究では産地の調査と分離培養試験，栄養成分に関する試験が実施されている．直接観察では先行研究と同じ莢膜細菌が多数観察されたことを報告している．培養試験では莢膜細菌の増殖は確認されなかったものの，カビや放線菌様の糸状性の微生物と念珠藻様の藻類を分離している．しかし，夾雑物の少ない試料ほどこれらの出現率が下がったことから「天狗の麦飯」形成への関与は少ないと推察している．また「天狗の麦飯」を形成する微生物については，川村の細菌説を採用するには直接観察で見られる細胞の形態的な特徴の違いが大きいこと，モーリッシュの藻類説を採用するにはフィコシアニンやカロチンなどの色素が検出されないことを挙げて，培養により「天狗の麦飯」を人工的に生成できなければ断定できないとしつつも，形態的にはモーリッシュの藻類説を採用するのが穏当だろうとの見方を示している（加藤ら，1934a, b；加藤・井上，1934；井上，1934）．

加藤らは食品として見たときの「天狗の麦飯」の性質についても成分分析や動物実験の結果から評価している．結論として毒性はないが栄養上の価値もほとんどなく，適量を食べる限りは満腹感を与えるとともに腸の蠕動や排便を促進する効果があるとしている（掛川，1934）．

5）高橋基生による研究

高橋基生博士は東京帝国大学理学部植物学科の学生であるときに中野房治教授を通じて三好　学名誉教授から「天狗の麦飯」の試料を分与されている．高橋が「天狗の麦飯」の研究を始めた経緯について肥田達太郎への追悼文（昭和 13 年に上海科学研究所に赴任していた肥田研究員が現地のゲリラに拉致殺害された）の中で言及されている（高橋，1940）．当時学生であった高橋が顕微鏡で「天狗の麦飯」を観察していたときに温室（おそらく植物学教室のあった小石川植物園内の生理実験温室と思われる）のほうから入ってきた肥田達太郎がこれを見つけ，“何んだ「天狗の麦飯」なら，もつと良いのが鹿澤附近にたくさんある”と前年に鹿沢温泉へ避暑に行ったことを話しながら鹿沢温泉の小林亀蔵氏への“頼みもしない紹介状”を“その辺に有り合わせた紙”に書いて“之を持つて一度鹿澤へ行つて来るといゝ”と半ば一方的に高橋に紹介状を渡したことから研究が始まったことが述懐されている．

高橋による「天狗の麦飯」研究では前述のとおり鹿沢温泉の小林氏の案内で鹿沢周辺の産地について調査をしており，これらの産地から採取された「天狗の麦飯」からも顕微鏡観察にて厚い莢膜をもつ細胞が観察されることを示している．さらに，冬季の積雪下にある産地では「天狗の麦飯」が雲丹の卵のような生々しい状態にあり，これを持ち帰り実験室で観察すると増殖する傾向を示していると報告している．この時期の「天狗の麦飯」に含まれる莢膜細菌は同心円状の莢膜ではなく流動性の高いゼラチン質の内部に混在しており薄く藍色を帯びていることから藍藻の一種だと推察している（高橋，1935；Takahashi, 1935）．

6）岡田要之助による研究

岡田要之助博士は東京帝国大学理科大学植物学科で三好　学教授の指導下で植物生理学を専攻し，後に東北帝国大学の教授に就任した（生態学研究 10 巻 2 号，pp 104–106，“故岡田要之助博士”，1947）．オニバスの生理学研究で学位を取得し，後の昭和 16 年（1941）に「土壌微生物学概論」を出版した本邦における土壌微生物学の先駆者である．岡田は「天狗の麦飯」に関して土壌微生物学の観点から研究を遂行した（Okada, 1937；岡田，1939，1942）．昭和 10 年（1935）に帝国学士院の推薦を得て東照宮三百年記念会から 3 年間の研究助成を受けて「天狗の麦飯」研究を行った（帝国学士院，1939）．この研究について三好は大きな関心を寄せていたようで，“三好学教授が終始奨励を與へられたことも感謝に堪えない”と記しているほか，帝国学士院の推薦を受ける際にも三好の働き掛けがあったことも記されている（岡田，1939，1942）．

岡田もまた莢膜細菌が「天狗の麦飯」のなかで圧倒的多数を占めることを認めているが，形態の違いが大きいことから川村が名づけた単一の細菌に由来するものなのか多種の混合物であるかについては決定しがたいと述べている（岡田，1939）．さらに岡田は「天狗の麦飯」から念珠藻などを分離しているものの絶対的な量が少ないために「天狗の麦飯」が藻類によって構成されるという説にも否定的な見解を示している．この他にも窒素固定細菌や硝化細菌，硝酸還元細菌，水素酸化細菌，メタン酸化細菌などを対象とした培養試験を実施しているが，いずれも「天狗の麦飯」の形成に

対する影響は小さいと結論づけている（岡田，1939）．岡田はこの他にも「天狗の麦飯」の呼吸速度やカタラーゼ活性の測定を行っている（岡田，1942）．

7）井島信五郎による研究

通産局鉱山部燃料課（井島，1955）の技官である井島信五郎博士は長野県資源調査研究会が昭和 26～28 年に実施した地質学的な基礎調査のなかで長野県内のいくつかの地点で調査を担当している．井島は資源調査のなかで「天狗の麦飯」の存在に気づいており，これが天然ガスの発生に伴う徴候であるガス徴ではないかとの考えの下に産地の記録を残している（井島，1958）．ただし，「天狗の麦飯」をガス徴と見なすかについては，安國・遠藤（1955）および本島ら（1955）では否定的な見解が示されており，当時から意見が分かれていたようである．

井島は「天狗の麦飯」とガス徴の関連に言及し，9 ヵ所の産地を報告している（井島，1958）．各地点の詳細については長野県資源研究会による地質調査報告書に参照することができる．井島が報告した「天狗の麦飯」の産地のなかで岩村田北部については耕地内を通過する村道端に「天然記念物天狗の麦飯」の標柱があるとの記述があり（井島・遠藤，1955b），これについて同様の記述を地質調査所が発行する地質ニュースの記事の中に確認することができる（燃料部石油課，1959）．この記事は内容が井島の記録と一致すること，無記名であるが燃料部とあることから井島によって書かれたものであると考えられる．この記事で「天狗の麦飯」の性状について，「澱粉ノリと泥とサッとかきまぜたどろどろしたもの」「ちょうどできのわるい麦飯のおかゆのようなもの」であるとし，「天狗の麦飯が半ば乾いてくると表土全体がゴムのような弾性を帯びてきて上にあがるとモクンモクンとはずむようになる」となると記述されている．特に踏むと独特の感触があるという特徴は川村（1916）や加藤ら（1934b）でも言及があることから，井島が報告したものは「天狗の麦飯」である可能が高いと考えられる．これまで発表されてきた「天狗の麦飯」は標高 1500 m 以上の産地を対象として生物学的な観点から調査されたものがほとんどであるため，標高 1000 m 以下に分布する粒状ではない「天狗の麦飯」について長野県内の広い範囲を地質学的な観点から調査した井島らの記録は「天狗の麦飯」の性質を知るうえでとても重要なものであるといえる．また，戸隠の産地については大野（1916）の冒頭で触れられているものの，以降の記録が絶えていた産地を井島が再発見したものであると考えられる．

8）「天狗の麦飯」に関する最近の研究

近年，分子生物学の発展により土壌などに生息する微生物群集構造を培養せずとも解析可能となった．宮下らは光学顕微鏡による観察で「天狗の麦飯」に厚い莢膜をもつ細胞が多数観察されることを確認したうえで，培養に依存しない分子生物学的手法である 16S rRNA 遺伝子クローンライブラリー法や PCR-DGGE 法を用いて「天狗の麦飯」の微生物群集構造を解析した．その結果，長野県北信地方と群馬県吾妻郡に棲息する「天狗の麦飯」はクロロフレクサス門（クテドノバクテリア綱），未培養系統 Ellin307/WD2124，プロテオバクテリア門（アルファ–，ガンマプロテオバクテリア綱）およびアシドバクテリア門で構成され，特にクテドノバクテリア綱が 43.0％と優占したことを報告している（宮下，2015）．

最近，筆者らはその主要菌群の 1 つであるクテドノバクテリア綱に属する新しい菌糸形成細菌の純粋分離に成功し，1 新科・1 新属・4 新種を提唱した．命名した学名は，新科 *Dictyobacteracae*，新属・新種 *Tengunoibacter tsumagoiensis*，新種 *Dictyobacter kobayashii*，新種 *D. alpinus*（Wang *et al.*, 2019），新種 *D. aurantisoli*（Yabe *et al.*, 2021）である．Tengunoibacter の「Tengu-」は天狗に由来し，*D. kobayashii* の「kobayashii」は上述した小林亀蔵氏以来代々吾妻郡の「天狗の麦飯」産地を管理している鹿沢温泉「紅葉館」の小林家に敬意を評したものである．

このクテドノバクテリア綱は細菌としては珍しく多様な形態分化を示すことがわかっており，分岐した菌糸や胞子嚢を形成する（図 3）．その胞子嚢は川村らが描いたスケッチの No. 5，8，9，10，14，15（図 2）と似ており，さらにこれらの分離株のコロニーの色や質感は産地で観察される「天狗の麦飯」とよく似ている（図 4）．これらのことからクテドノバクテリアの系統が「天狗の麦飯」でこれまで観察されてきた莢膜細菌や菌糸形成微生物の 1 つであり，「天狗の麦飯」の独特な形状の形成に関与していることが強く示唆された．しかしながら，大きな莢膜に少数の細胞が封入されたような微生物（図 2 の 1，2，3，6，7，12，16）は単離できておらず，莢膜細菌の正体はいまだ明らかにされていない．

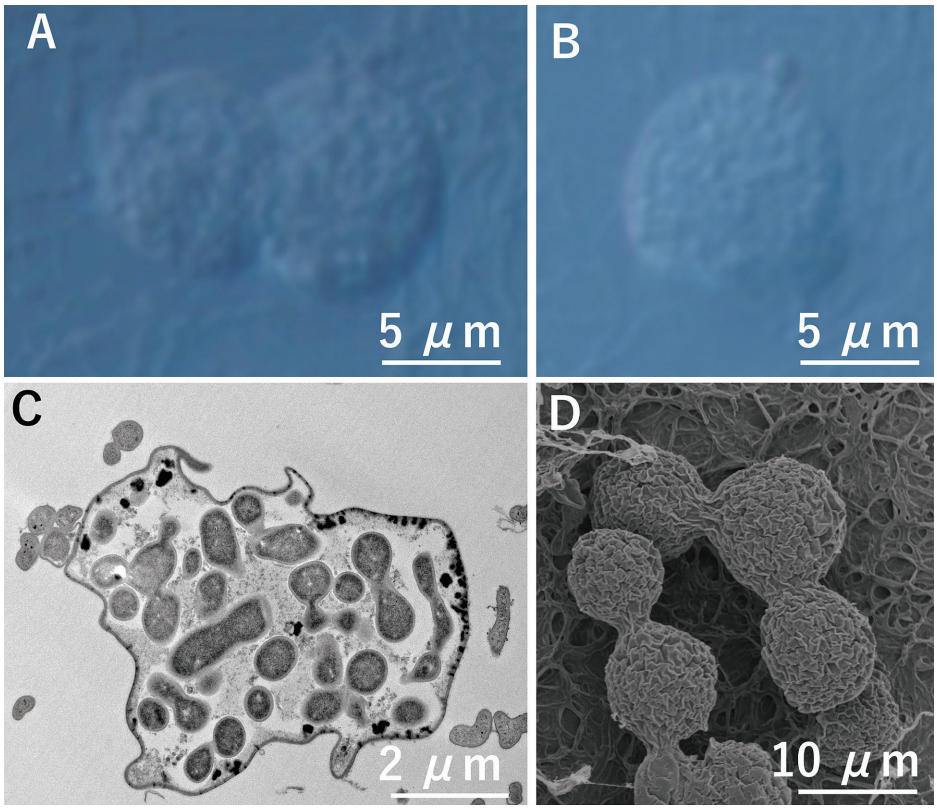

図 3　クテドノバクテリアが形成する胞子嚢の形態
A, **B**：胞子嚢の光学顕微鏡像，**C**：胞子嚢の TEM 像，**D**：胞子嚢の SEM 像

先行研究から推定される「天狗の麦飯」の生態

1)「天狗の麦飯」の性状と標高の関係

「天狗の麦飯」の性状，つまり目視観察における形態について，主に粒状と味噌状に 2 つに分類することができる．粒状のものは直径が 1 mm に満たないものから 1 cm に達するものまであり（川村，1916），3–5 mm のものが最も多い（加藤ら，1934b）．粘液状のものは粒状のものに伴って発生しているもので，黒姫山（産地 B）では「天狗の麦飯」と岩石が接触する部位に粒状を成さない不定形のものが岩石表面を包み込むように分布すると記述されている（川村，1916）．同様の記述は浅間山（産地 C5）でも確認することができ，「軟き半味噌状」や「軟質ジェリー状」「膠状」と表現されている（加藤ら，1934b；岡田，1939）．一般的に細菌の形態学では細胞を包む透明な層のうち輪郭がはっきりと視認できるものを莢膜（capsule），輪郭が不明瞭なものを粘液層（slime layer）と呼ぶことから，本稿では粒状のものに付随して発生する不定形のものについては粘液状と呼ぶ．味噌状のものについては髻山（産地 K）や味噌塚（産地 J），品野尻村（産地 L），富士里村（産地 M）で記録されている（川村，1916；加藤ら，1934b；岡田，1939）．これらは謙信の味噌（産地 K）や長者味噌（産地 J），焼けソブ（産地 M）と産地ごとに異なる名前で呼ばれている．この他にもゴム状（産地 M，N）やコンニャク状（産地 R）と表現されるもの（井島・吉富，1955；井島・遠藤，1955a；石川，1955）もあるが，粒状を成さず味噌や餡などに例えられるペースト状である点が共通していると見なすことができることから本稿ではすべて味噌状の「天狗の麦飯」として扱う．

表 1 はこれまでに「天狗の麦飯」の記録が確認されている産地を表にまとめたものである．浅間山の産地の一部（産地 C1–C3）は文献に記述される内容から推定される地点の標高を記入した．全体的な傾向として，標高 1500 m 以上の産地では主に粒状もしくは粘液状のものを産出し，標高 1000 m 以下の産地では味噌状もしくはおかゆ状のものを産出する．

最も古い記録が残されている飯縄山（産地 A）については井出道貞の信濃奇勝録（1834 年成立）から田中芳男の科埜行雑記（1875 年に調査実施）まで記録が確

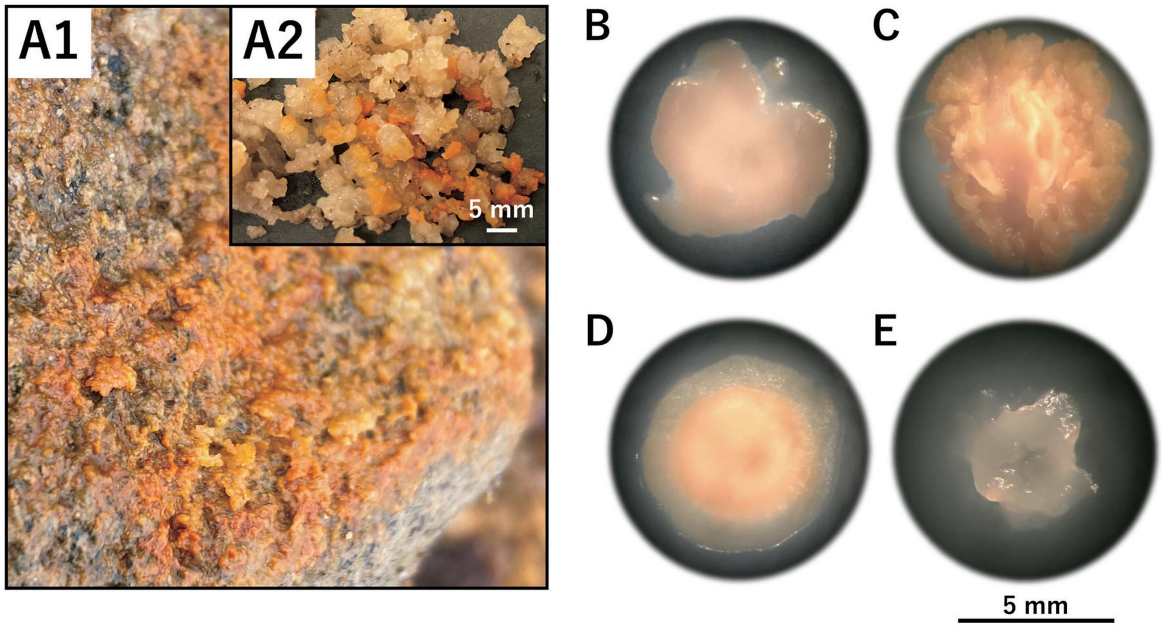

図 4　天狗の麦飯と天狗の麦飯から分離されたクテドノバクテリアのコロニー
A：現存する産地の一つで観察された天狗の麦飯が現地の石の表面に付着する様子（A1）と特に砂礫の混入が少ない部分の実体顕微鏡写真（A2）．**B**，**C**，**D**，**E**：天狗の麦飯から分離されたクテドノバクテリアのコロニー形態，**B**：*Tengunoibacter tsumagoiensis*，**C**：*Dictyobacter kobayashii*，**D**：*Dictyobacter alpinus*，**E**：*Dictyobacter aurantisoli*

認できるものの（井出，1887；田中，1875；田中，2009），川村による研究では「現時ニ於テハ所在不明ニシテ未ダ標品ヲ得ルコト能ワズ」と記されており，それ以降見つかっていない（川村，1916）．加藤らの研究において飯縄山下腹にて味噌状のものが再発見されたことが記録されているが，地点や性状が異なることから同じものであるとはいいがたいだろう（加藤ら，1934b）．

2）「天狗の麦飯」と土壌から発生するガスの関係

これまでに「天狗の麦飯」の産地のほとんどの地域で地中からガスの発生を伴うことが報告されている．井島は「天狗の麦飯」産地に共通する特徴として産地内かその付近に可燃性天然ガス（主としてメタン）もしくは二酸化炭素の発生を伴うことを挙げている（井島，1958）．高橋も割山（産地 H2）と和熊沢（産地 E）においてメタンの発生を記録している（高橋，1935）．この他にも浅間山（産地 C1–C5）では「天狗の麦飯」産地では常にガスが発生しているという証言が火山館の小山金重氏から得られている（野口，1972）．この小山金重氏とは浅間山の山頂付近にある民営の宿泊所（現在は市営の施設となっている）の主人で，加藤らや岡田の調査にも協力した人物である．小山氏は浅間山の地形をよく把握した人物であること，「天狗の麦飯」や地中からのガスの発生の識別に特別な装置などは必要ないことなどから考えると，この証言は十分に信頼できるものであると考えられる．ほかにも，岡田は産地での二酸化炭素の放出量を測定しており，「天狗の麦飯」産地からは周辺土壌と比較して 1.5 倍程度の二酸化炭素が放出されていることを記録している（岡田，1942）．ただし，岡田はこれを「天狗の麦飯」に含まれる微生物の呼吸に由来するものと考察している．以上のとおり，「天狗の麦飯」の産地では地中からのガスの発生を伴う傾向を見出すことができる．

産地の標高とガスの組成の関係については長野県内の地下資源調査に関する論文で議論されており，概して第三紀に堆積した有機物に由来するメタンと火山ガスに由来する二酸化炭素の混合物であるとされている（安國・遠藤，1955；本島ら，1955）．特に黒姫山・飯縄山の東側山麓の地域では標高が高くなるにつれて二酸化炭素の比率が上昇する傾向にある（安國・遠藤，1955）．この地域には飯縄山（産地 A）や黒姫山（産地 B）のほかに信濃尻村（産地 L）や富士里村（産地 M）が含まれており，富士里村（産地 M）ではメタン

表 1　天狗の麦飯の産地と標高および産出するものの性状

記号	地名	標高（m）	天狗の麦飯の性状	出典
A	飯縄山	1900	粒状，味噌状	井出（1886），豊田（1849），田中（1875），加藤ら（1934b）
B	黒姫山	2000	粒状，粘液状	大野（1916），川村（1916），加藤ら（1934b），井島（1958）
C1	浅間山	2000	粒状	川村（1916），加藤ら（1934b）
C2	浅間山	2000	味噌状	川村（1916），加藤ら（1934b）
C3	浅間山	2100	粒状	加藤ら（1934b）
C4	浅間山	2100	粒状	川村（1916），岡田（1939）
C5	浅間山	2000	粒状，粘液状	加藤ら（1934b），岡田（1939）
D	湯ノ丸山	1900	粒状	Wang *et al.*（2019）
E	和熊沢	1530	粒状，粘液状	高橋（1935）
F	不通沢	1500	粒状	高橋（1935）
G1	硫黄沢	1450	粒状	高橋（1935）
G2	硫黄沢	1450	粒状	高橋（1935）
H1	割山	1740	粒状	高橋（1935）
H2	割山	1700	粒状	高橋（1935）
H3	割山	1630	粒状	高橋（1935）
I	高峰山	1890	粒状	高橋（1935）
J	味噌塚	680	味噌状	川村（1916），加藤ら（1934b）
K	髻山	700	味噌状	川村（1916），加藤ら（1934b）
L	信濃尻村	800	味噌状	川村（1916），加藤ら（1934b），井島（1958）
M	富士里村	670	味噌状	加藤ら（1934b），岡田（1939），井島（1958）
N	戸隠村	1000	味噌状	大野（1916），井島（1958）
O	鬼無里村	730	味噌状	井島（1958）
P	犀川支流	700		井島（1958）
Q	明科町北部	600		井島（1958）
R	長村渋沢	1100	味噌状	井島（1958）
S	小諸町六道欅	680		井島（1958）
T	岩村田北部	700	味噌状	井島（1958）

の発生により焚火から引火したという記録が残されている（加藤ら，1934b）．この他にも戸隠村（産地 N）や鬼無里村（産地 O）においても可燃性天然ガスの発生が記録されている（井島・吉富，1955；井島・遠藤，1955a）．以上の点を踏まえて考えると，標高の高い産地（産地 A，B）では二酸化炭素の比率が高いガスが発生しており主に粒状の「天狗の麦飯」が産出する，一方で標高の低い麓の産地（産地 L，M や産地 N，O）ではメタンなどの可燃性天然ガスの比率が高くなり味噌状のものを産出する，という傾向を見出すことができる．これは浅間山周辺でも同じ傾向を示し，標高の低い小諸周辺（産地 J，T）では味噌状もしくはおかゆ状の「天狗の麦飯」を産し，これに伴って可燃性天然ガスが含むガスの発生が記録されている（井島・遠藤，1955b；本島ら，1955）．高標高の浅間山（産地 C1–C5）については地中から発生するガスの組成を直接示す資料はないが，浅間山周辺における湧水中は火山ガスに由来する二酸化炭素の影響を強く受けること（鈴木・田瀬，2010）や山頂付近では広範囲にわたって土壌から二酸化炭素が放出されていること（Morita *et al.*, 2016）を踏まえると浅間山（産地 C1–C5）周辺では二酸化炭素の比率が高いガスが地中から放出されていると考えられる．先の地点の中間的な標高にある産地（E，F，G，H1–H3，R）では，粒状のものが産出する地点でもメタンの発生が確認されている（産地 E，H2）一方で，すぐ近くの地点（産地 R）からは「コンニャク状」のもの（粒状ではないという意味で味噌状に含むと考えられる）の産出が記録されているなど（石川，1955），「天狗の麦飯」の性状が混在した状況にある．それぞれの産地で発生するガスの組成を明らかにしなければ断定できないものであるが，「天狗の麦飯」の性状（粒状か味噌状か）を左右するガス組成（もしくは標高に相関のある何かしらの要素）の境界が標高 1000–1500 m 付近に分布する産地周辺にあると考えることができるだろう．また，「天狗の麦飯」の産地によっては地表の植生が弱い，もしく

は全くない所がある．これについては地中から放出される二酸化炭素量が多く，土中の二酸化炭素濃度が高いときは植物の生育が阻害されるために表面の植生がなくなると考えられる．

3)「天狗の麦飯」の発生に関する仮説

産地におけるガスの発生のほかにも「天狗の麦飯」の発生についていくつか興味深い記録が残されている．高橋は冬季の積雪下にある産地を調査した際に，「天狗の麦飯」が雲丹の卵のような外観を呈する生々しい「ゼラチン」粒子状である様子を観察しており，これが「天狗の麦飯」の増殖期にあるのではないかと考えて実験室に持ち帰ったところ日々増殖する傾向を示したと記録している（高橋，1935）．また，岡田は「天狗の麦飯」の粒状のものとそれに伴って発生する粘液状のものについて呼吸速度（時間当たりの二酸化炭素の放出量）を測定したところ，乾燥重量当たりで比較したときに粘液状のもののほうが呼吸速度が 8–9 倍ほど大きいという結果を得ている（岡田，1942）．さらにカタラーゼ活性も測定しており，0℃で 110 日保存したものでは粒状のものよりも粘液状のもののほうが活性が高いという結果を得ている．さらに 0℃で 210 日保存した後に測定するとカタラーゼ活性がより強くなる傾向を示したことを認めている（岡田，1942）．これを「天狗の麦飯」の発生過程に落とし込むとするならば，初期は比較的水分を多く含み生物的な活性の高い粘液状から始まり，次第に水分量が少なく活性の低い粒状へと変化すると解釈することができる．さらにこれは冬季の積雪下で進行するもので，積雪により 0℃近くに温度が保たれつつ地中から放出されるガスが積雪により地表面にとどめられることで「天狗の麦飯」の増殖に適した環境が形成されると考えることができる．味噌状のものについてもこれに似た内容の記述がされており，まず半透明の部分と泥の部分を含む「できのわるい麦飯のおかゆ」のような状態のものがあり，これが乾燥すると全体がゴムのような弾性を帯びた状態になると表現されている（燃料部石油課，1959）．つまり「天狗の麦飯」とは，その性状について粒状や味噌状といった違いはあるものの，産地では地中からガスの発生を伴うものであり，おそらく低温と高濃度の二酸化炭素（やメタン）を好み冬季の積雪下で増殖し，時間の経過に伴って水分量の高い状態から低い状態へと変化していく，という過程で形成される微生物の塊であると推定できる．

4)「天狗の麦飯」の産地に見られる地質学的な背景

「天狗の麦飯」の産地が記録されている山は妙高火山群もしくは浅間烏帽子火山群に属している．これらの火山群は北部フォッサマグナ上に位置しており（大森，1960；早津ら，1994；西来ら，2013；業田ら，2015），北部フォッサマグナには背斜と呼ばれるしゅう曲が多く分布している（正谷・市村，1970；加藤ら，2014）．背斜とは上に凸の形をしたしゅう曲構造であり，ここには天然ガスや石油がたまりやすいことが知られている．北部フォッサマグナの背斜は糸魚川―静岡構造線に沿って長野県北部から新潟まで分布しているが，これに重なる活火山は限られている．「天狗の麦飯」の発生には火山ガスと天然ガスの混合物が必要であると仮定するならば，これが「天狗の麦飯」が妙高火山群と浅間烏帽子火山群の周辺にしか見つからない理由であるかもしれない．

おわりに

本稿ではまず，「天狗の麦飯」という独特な天然記念物の文化財的価値とその研究史について以下の点で重要な意義をもつことを論じた．特に天然記念物保護事業に多大な貢献をした三好　学が「天狗の麦飯」に強い関心を寄せていた点は，この天然記念物の学術的および文化的な重要性を裏づけるものであるといえるだろう．また，「天狗の麦飯」は天然記念物として，その産地が保護され，将来にわたって保存される必要がある．しかし，これまで「天狗の麦飯」の生態や形成過程が不明であったため，適切な保護保全の方法を確立することが困難であり，そのために産地を秘匿するという消極的な手段がとられていた．本稿では先行研究の内容を整理することで「天狗の麦飯」の生態や生成過程について一定の仮説を導出した．この仮説が今後，現代のより新しい手法で検証されることで，「天狗の麦飯」の保護や保全に寄与する新しい知見をもたらされることが期待される．加えて，実験室内における「天狗の麦飯」の再現に成功すれば，微生物資源として学術的な価値の向上にも資することができるだろう．

文　献

早津賢二，清水　智，板谷徹丸 1994．妙高火山群の活動史．地学雑誌　**103**（3）：207–220.

井出道貞 1886．水内郡之部 飯縄山，信濃奇勝録 巻之二，p. 12，井出通，長野．国書データベース https://doi.org/10.20730/100347448．最終訪問日 2024 年 9

月 9 日.
井島信五郎 1955. 野尻湖付近天然ガス地域の地質について. 石油技術協会誌 **20**（5）: 8–15.
井島信五郎 1958. 長野県の石油及び可燃性天然ガス資源について, 長野県地学会（編）, 長野県の地学 III, p. 168–183, 柳沢書店, 長野.
井島信五郎, 遠藤昭二 1955a. 上水内郡鬼無里村, 北小川村及び北安曇郡北城村に亘る地域の地質, 長野県資源調査研究会（編）, 地質調査報告書, p. 47–57, 信濃教育会出版部, 長野.
井島信五郎, 遠藤昭二 1955b. 上田―軽井沢周辺地域の地質, 長野県資源調査研究会（編）, 地質調査報告書, p. 127–135, 信濃教育会出版部, 長野.
井島信五郎, 吉富武雄 1955. 上水内郡鬼無里油田の地質, 長野県資源調査研究会（編）, 地質調査報告書, p. 39–46, 信濃教育会出版部, 長野.
井上憲政 1934. 所謂天狗麦飯に関する研究 其の四 天狗麦飯より菌分離再試並びに分離菌の一二の生物学的性状. 栄養研究所報告 **7**（1）: 115–121.
石川 博 1955. 小県郡長村字渋沢付近の地質, 長野県資源調査研究会（編）, 地質調査報告書, p. 142–144, 信濃教育会出版部, 長野.
掛川俊二 1934. 所謂天狗麦飯に関する研究 其の五 化学的成分並に動物試験に関する二三の記録. 栄養研究所報告 **7**（1）: 122–129.
加藤 進, 西田英毅, 岩野裕継 2014. 長野県北部フォッサマグナ地域における原油・天然ガスの地球化学. 石油技術協会誌 **79**（3）: 171–179.
加藤正吉, 井上憲政 1934. 所謂天狗麦飯に関する研究 其の三 本体検索に関する試験. 栄養研究所報告 **7**（1）: 102–114.
加藤正吉, 井上憲政, 掛川俊二, 鶴園亀助 1934a. 所謂天狗麦飯に関する研究 其の二 肉眼的所見並に顕微鏡的所見. 栄養研究所報告 **7**（1）: 97–101.
加藤正吉, 掛川憲正, 鶴園亀助 1934b. 所謂天狗麦飯に関する研究 其の一 序説並に産地の調査. 栄養研究所報告 **7**（1）: 88–95.
川村清一 1916. 天狗の麦飯. 盆栽雅報 **124**: 10–13.
川村多実二 1908. 管水母に就て. 動物学雑誌 **20**（233）: 77–83, **20**（234）: 101–109, **20**（235）: 139–148.
川村多実二 1916. 天狗麦飯研究第一報告. 植物学雑誌 **30**（353）: 109–119, **30**（354）: 133–151.
正谷 清, 市村隆三 1970. フォッサマグナ地域北部の石油地質. 石油技術協会誌 **35**（1）: 1–12.
増田芳雄 2002. 第二章 当時の学校制度と大野直枝の学歴, 大野直枝の人と業績, p. 38–52, 学会出版センター, 東京.
宮地伝三郎 1965. 川村多実二先生をしのんで. 日本生態学会誌 **15**（1）: 39–40.
宮下英明 2015.「天狗の麦飯」の多様性と消滅因子の解明. 文部省科学研究費補助金研究成果報告書, 課題番号: 24651266. https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-24651266/. 最終訪問日 2024 年 9 月 9 日.
三好 学 1906. 名木ノ伐滅並ニ其保存ノ必要. 東洋学芸雑誌 **23**（301）: 429–438.
三好 学 1907. 天然記念物保存の必要並に其保存策に就て. 太陽 **13**（1）: 169–175, **13**（2）: 169–182.
三好 学 1920. 天狗ノ麦飯ノ産地, 内務省（編）, 史蹟名勝天然記念物調査報告第十三号, p. 7–12, 内務省, 東京.
Molisch, H. 1926. Massenvegetation esßbarer Mikroorganismen (Chroococcaceen) auf hohen Bergen, Pflanzenbiologie in Japan auf Grund eigener Beobachtungen, p. 104–109, Gustav Fischer, Jena.
Morita, M., Mori, T, Kazahaya, R. & Tsuji, H. 2016. Diffuse carbon dioxide emissions from hidden subsurface structures at Asama volcano, Japan. Bull. Volcanol. **78**(17).
本島公司, 石和田靖章, 安國 昇, 遠藤昭二, 影山邦夫 1955. 長野縣小諸附近の天然ガス. 石油技術協会誌 **20**（3）: 65–71.
中村 浩 1978. ポスト石油は天狗の麦飯? 熱管理と公害 **30**（2）: 218–129.
中野治房 1939. 三好学先生ノ追憶. 植物学雑誌 **53**（630）: 265–270.
業田顕行, 山元正継, 笹沼貴弘, 小松宏昭 2015. 北部フォッサマグナに産する後期新生代火山岩の Sr-Nd 同位体組成からみた 2 つのソースマントルの分布. 岩石鉱物化学 **44**（6）: 301–322.
燃料部石油課 1959. 天然ガス徴候の見方と見つけ方. 地質ニュース **53**: 6–13.
西来邦彰, 高橋 康, 松本哲一 2013. 浅間・烏帽子火山群の火山活動場の変遷. 地学雑誌 **119**（7）: 474–487.
野口喜三雄 1972. 小山金重老人. 信濃教育 **1024** 23–25.
小渕武一 1986. 6 章 4 節 1. 天然記念物（1）てんぐ

のむぎめし，小諸市教育委員会（編），小諸市誌 自然篇，p. 549，小諸市教育委員会，長野.

Okada, Y. 1937. Occurrence of masses of gelatinous microbes in the soil. Soil Sci. **43**(5): 367–372.

岡田要之助 1939. 天狗麦飯微生物の研究 第1報 天狗麦飯中に見られる微生物の種類並にその数量に就きて. 生態学研究 **5**（4）：89–104.

岡田要之助 1942. 天狗麦飯微生物の研究 第2報 天狗麦飯粒の呼吸，並に産出現地に於ける炭酸ガスの発生に就きて. 生態学研究 **8**（2）：121–127，**8**（3）：125–128.

大森昌衛 1960. フォッサ・マグナの地質学的意義. 地球科学 **1960**（50–51）：75–82.

大野直枝 1903. 天狗の麦飯に就いて. 東洋学芸雑誌 **12**（258）：130.

大野直枝 1916. 黒姫山産『天狗ノ麦飯』ニ関スル研究. 植物学雑誌 **30**（351）：59–65.

品田 穣 1971. 天然記念物保護の歴史とその意義，天然記念物事典，p. 307–318，第一法規出版，東京.

鈴木秀和，田瀬則雄 2010. 浅間火山の湧水の水質形成における火山ガスの影響と地下水流動特性. 日本水文科学会誌 **40**（4）：149–162.

Takahashi, M. 1935. Studies on "Tengu-no-mugimeshi", a mass vegetation of micro-organisms indigenous to some volcanic regions in the middle part of Japan proper. Journ. Jap. Bot. **11**(4): 38–50.

高橋基生 1935. 天狗の麦飯に就いて. 植物及動物 **3**（4）：761–768，925–931，1128–1134.

高橋基生 1940. 鼻柱物語. 自然 **10**：106–108.

田中義信 2009. 田中芳男自筆『科埜行雑記』—解説と翻刻—. 飯田市美術博物館 研究紀要 **19**：31–67.

田中芳男 1875. 科埜行雑記. 東京大学総合図書館所蔵古典書籍デジタルアーカイブ. https://iiif.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/repo/s/koten/document/2e9d0e33-4987-1644-5565-5304718572df. 最終訪問日 2024年9月9日.

帝国学士院 1939. 東照宮三百年祭記念會へ推薦ノ補助研究事項，研究費補助事項調，p. 100–102，帝国学士院，東京.

豊田庸園 1849. 善光寺道名所図会 巻之三，美濃屋伊六，名古屋. 信州デジタルコモンズ. https://www.ro-da.jp/shinshu-dcommons/library/02BK0104162805. 最終訪問日 2024年9月9日.

Wang, C.M., Zheng, Y., Sakai, Y., Toyoda, A., Minakuchi, Y., Abe, K., Yokota, A. & Yabe, S. 2019. *Tengunoibacter tsumagoiensis* gen. nov., sp. nov., *Dictyobacter kobayashii* sp. nov., *Dictyobacter alpinus* sp. nov., and description of *Dictyobacteraceae* fam. nov. within the order *Ktedonobacterales* isolated from Tengu-no-mugimeshi, a soil-like granular mass of microorganisms, and emended descriptions of the genera *Ktedonobacter* and *Dictyobacter*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. **69**(7): 1910–1918.

Yabe, S., Zheng, Y., Wang, C.M., Sakai, Y., Abe, K., Yokota, A., Donadio, S., Cavaletti, L. & Monciardini, P. 2021. *Reticulibacter mediterranei* gen. nov., sp. nov., within the new family *Reticulibacteraceae* fam. nov., and *Ktedonospora formicarum* gen. nov., sp. nov., *Ktedonobacter robiniae* sp. nov., *Dictyobacter formicarum* sp. nov. and *Dictyobacter arantiisoli* sp. nov., belonging to the class *Ktedonobacteria*. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. **71**(7).

安國 昇，遠藤昭二 1955. 野尻湖附近天然ガス地域の地化学調査. 石油技術協会誌 **20**（5）：152–160.

The Research History of the Microbial Community Known as "Tengu no Mugimeshi"

Kiyoaki Muto[1)], Chiung-mei Wang[1)], Keietsu Abe[1)] and Shuhei Yabe[2)]
[1)]Graduate Schoof of Agricultural Science, Tohoku University, [2)]Riken Bioresource Research Center

"Tengu-no-mugimeshi" is a microbial aggregate unique to the Asama-Eboshi volcanic region, historically referred to as "edible soil" due to its consumption by people. The variety found in Komoro City has been designated as a Natural Monument by the Japanese government. From the Meiji to Showa periods, Japanese botanists and zoologists demonstrated keen interest in "Tengu-no-mugimeshi," resulting in several research papers, essays, and reports that remain to this day. In recent years, molecular biological techniques have been employed to analyze microbial communities and isolate key bacterial groups, gradually revealing the nature of "Tengu-no-mugimeshi." However, its ecology and formation processes remain largely a mystery. This study comprehensively reviews previous biological and geological research on "Tengu-no-mugimeshi," examining its ecology and formation while discussing its significance as both a cultural heritage and a valuable microbial resource.