

発酵食品「酒粕」の潜在力

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
著者名	藤井,力
発行元	日本醸造協会
巻/号	117巻2号
掲載ページ	p. 76-82
発行年月	2022年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



発酵食品「酒粕」の潜在力 － 老化抑制や脳機能活性化の可能性 －

酒粕は清酒醸造で得られる固形の副産物で、麹菌や清酒酵母、生もと造りでは乳酸菌も関与するなど、発酵食品としてよいと思うが、発酵食品イメージが十分でなく、酒粕研究者が少ないこともあり、レジスタントプロテインや α エチルグルコシドなど一部の例外を除き、論文、特にヒト試験の論文が乏しい状況にある。これまで酒粕に含まれる機能性成分含量の調査・研究を行ってきた著者に、酒粕の持つ潜在力と、老化抑制や脳機能活性化の可能性について紹介していただいた。

藤 井 力

はじめに

酒粕は清酒醸造で得られる固形の副産物で、麹菌が生産する機能性成分を含む「米麴」をさらに酵母で発酵した食品である。そのため、酒粕は麹菌と清酒酵母が生産する機能性成分の両方を含み、健康イメージの高い麴や甘酒の含有する機能性成分と共通の成分が多い。酒粕は、万葉集の「貧窮問答の歌」で山上憶良が、糟湯酒（かすゆざけ：酒粕をお湯で溶いたもの）で寒さをしのぐ様子をうたったほど、日本人にとって食経験が長い食品でもある。欧米で使用しない麹菌や清酒酵母を用いて発酵した食品であり、日本固有の発酵食品ともいえる。

発酵工程における微生物が生産するビタミン類の推移を、日本食品標準成分表 2020 年版（八訂）（以下、成分表）¹⁾の玄米、精白米、米麴（成分表では「米こうじ」）、酒粕（成分表では「酒かす」）の成分含量値を用いて擬似的に調べたところ（第 1 表）、ぬか画分に多く含まれるビタミン B₁ は精米工程により大幅に減少するため、玄米に比べ、精白米や米麴、酒粕で含量が低いが、ビタミン B₂ や B₆、葉酸は米麴や酒粕中の含量が高い。これは清酒製造の環境において、麹菌や清酒酵母が生産したためと考えられる。また、ビタミン B₂ や B₆、葉酸、パントテン酸等は、発酵食品イメージの高い米麴よりも酒粕の含量の方が高いことが

わかる（第 1 表）。これは、主に酵母によるビタミン生産を反映していると考えられる。

麹菌は生産するが酵母は生産しない成分であっても、米麴の機能性成分は酒粕に同等程度含まれる可能性が高いということ、意外に思うかもしれない。米麴の機能性成分含量がもろみ中で減少しない（酵母に使われない）場合で、麴歩合（仕込みに使う米のうち麴に使う米の割合）20% かつ粕歩合（仕込みに使う米を 100 とした酒粕の重さの割合）20% と仮定した場合、酒粕の機能性成分含量は、計算上、米麴とほぼ同程度になる。例えば、麴歩合が約 100% と高い場合や粕歩合が 15% と低い場合、米麴の機能性成分は、酒粕中にむしろ濃縮され高くなる計算になる。

さらに、酒粕には、米麴には含まれない酵母（や生もとの場合乳酸菌）の機能性成分が含まれるほか、 β グルカン等の菌体成分や食物繊維様活性を持つレジスタントプロテインも濃縮される。甘酒に使われる原料として酒粕と米麴を比較すると、酒粕にはアルコールが含まれているものの、乾燥等加工工程で除去可能であるほか、新鮮な酒粕に含まれる糖分は極めて少ないことが多く、使用に当たっても、糖を「添加する・しない」の選択や、「添加量の加減」「代替甘味料の使用」も可能という利点もある。

酒粕製造には麹菌や清酒酵母、生もと造りでは乳酸菌が関与するなど、酒粕はれっきとした発酵食品とい

第1表 ビタミン類の含量の違い
文献1(日本食品標準成分表2020年版(八訂))のデータを抽出して作成

	玄米 ¹⁾	精白米 うるち ²⁾	米麴 ³⁾	酒粕 ⁴⁾
ビタミンB ₁ (mg/100-g)	0.41	0.08	0.11	0.03
ビタミンB ₂ (mg/100-g)	0.04	0.02	0.13	0.26
ビタミンB ₆ (mg/100-g)	0.45	0.12	0.11	0.94
葉酸 (μg/100-g)	27	12	71	170
パントテン酸 (mg/100-g)	1.37	0.66	0.42	0.48
ビオチン (μg/100-g)	6.0	1.4	4.2	-

- 1)「穀類/こめ/[水稻穀粒]/玄米」より
 2)「穀類/こめ/[水稻穀粒]/精白米 うるち」より
 3)「穀類/こめ/[うるち米製品]/米こうじ」より
 4)「調味料及び香辛料類/<調味料類>/(その他)/酒かす」より
 -: データ未記載

第2表 清酒製造工程におけるビタミン類など成分含量の変化
文献2(醸造物の成分(日本醸造協会編))の表を統合・改変

	パントテン酸 (μg/ml 米)	ビタミンB ₁ (μg/ml 米)	ビタミンB ₆ (μg/ml 米)	ビオチン (μg/ml 米)
玄米	22,500	4,530	2,208	470
94.8% 精米	15,500	3,020	1,666	240
74.4% 精米	4,800	-	250	78
75% 精米	4,800	<40	250	78
蒸米後	4,430	0	94	26
製麴0時間	4,430	0	94	26
57時間出麴	13,330	160	1,438	60

	パントテン酸 (μg/ml 試料)	ビタミンB ₁ (μg/ml 試料)	ビタミンB ₆ (μg/ml 試料)	ビオチン (μg/ml 試料)
山廃酒母1日 使用前	1,440 980	- -	240 4,600	28 14
もろみ1日	1,920	13	250	19
もろみ7日	1,920	28	885	49
もろみ14日	2,280	72	1,750	16
上槽前	-	-	750	20
酒粕	-	-	425	123

ってよいはずだが、「米麴」や「味噌」、「ヨーグルト」等のような発酵食品のイメージが乏しい。研究者も少なく、素材の潜在力に比し、ヒト試験等の研究はあまり行われていない状況に思える。

本稿では、我々の研究を含め、発酵食品「酒粕」が持つ健康効果の潜在力、特に老化抑制や脳機能活性化の可能性について紹介したい。

1. 酒粕中の機能性成分含量の調査・研究

酒粕・清酒の製造工程におけるビタミン類等の消長を確認したい(第2表)²⁾。玄米から精米が進むと、第2表に掲載したビタミンはいずれも含量が減少して

いることがわかる。さらに、加熱工程である蒸米工程後に減少するが、麴菌による発酵工程である製麴で、いったんゼロになったビタミンB₁が増加しているほか、パントテン酸は約3倍に、ビタミンB₆は約15倍に、ビオチンは約2倍に増加している。山廃酒母の場合、酒母製造工程でビオチンとパントテン酸は減少するが、ビタミンB₆は約20倍となり、さらにもろみ工程でパントテン酸やビタミンB₁、ビタミンB₆が大幅に増加している。清酒製造製造における麴菌や酵母の発酵のどちらにおいてもビタミンが生産されていることがわかる。

酵母は多くの微生物の中でもS-アデノシルメチオ

第3表 様々な微生物のSAM生産能
(文献3のTable I・IIを統合し作成)

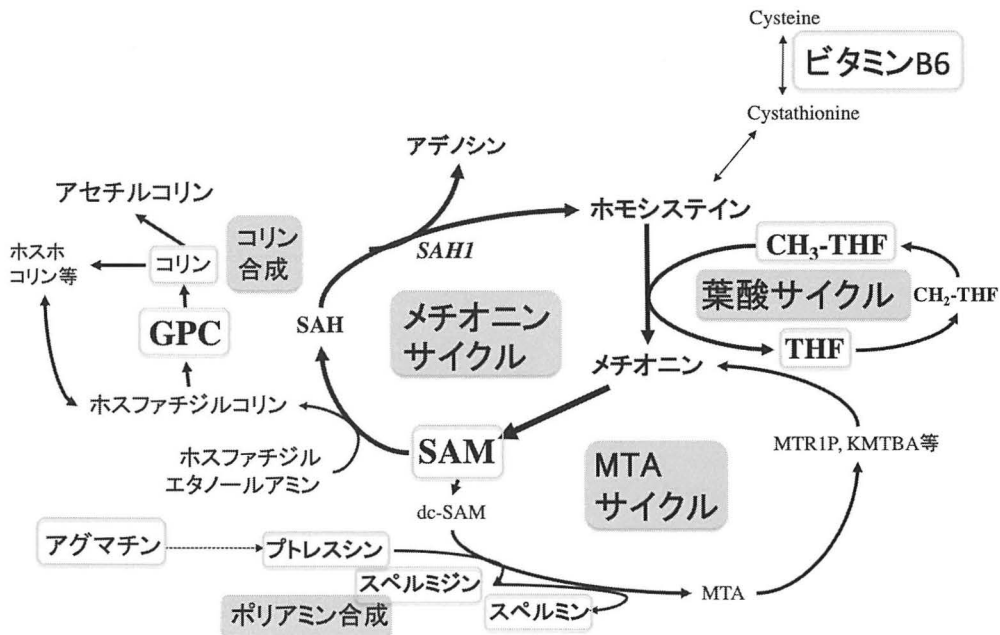
	試験株数	SAM生産菌株数			
		SAM (mg/ml)			
		<0.04	0.04-0.2	0.2-0.4	0.4<
酵母	178	20	84	43	31
(清酒酵母)	9	0	0	2	7
糸状菌	36	35	1	0	0
担子菌	5	5	0	0	0
細菌	123	107	16	0	0
放線菌	13	13	0	0	0
乳酸菌	2	2	0	0	0

ニン (SAM) を高生産する³⁾(第3表)が、特に清酒酵母は種々の酵母の中でもSAMを特に高生産する³⁾(第3表)。そこで、我々は、全国の清酒製造場協力のもと、タイプの異なる酒粕109点を収集し、酒粕のSAM含量を調査した。また、SAMの代謝経路(第1図)に近く、老化抑制や脳機能活性化に関する知見の報告のある成分についても調査した。その結果、SAM周辺の成分が酒粕に高含有され、常識的な摂取

量で健康機能を示してもおかしくない機能性成分が多くある(第1図)ことが明らかになった⁴⁾。我々の研究で明らかになった酒粕の機能性成分について簡単に紹介したい。

(1) SAM

SAMはドイツやロシアでは処方箋薬、米国やカナダでは補助食品として40年以上の歴史がある機能性



第1図 酒粕に高含有される機能性成分と代謝経路図

酒粕中に高含有されている成分を枠で囲い、関連する代謝経路名の背景を灰色にした。ビタミンB₆、葉酸、SAM、ポリアミン、GPC(グリセロホスホコリン)はいずれも老化や脳機能に関連する知見が得られ、いずれも代謝経路に近い。

成分である。SAMは生体内の主要なメチル基供与体で、葉酸等とともに一炭素代謝に重要であるほか、気分改善や抗肝障害等の効果が報告されている⁵⁾。

様々な製造方法により製造された酒粕109点の分析の結果、酒粕中のSAM含量には高いものも低いものもあったが、最もSAMを高含有する酒粕は、これまでの報告で最もSAMを含むにごり酒の約80倍、2位の豚レバーの約120倍であった。また、酒粕中のSAMの平均含量でも、にごり酒の約20倍、豚レバーの約30倍と桁違いであった。なお、最もSAM含量の高い酒粕は約20gで気分改善効果を示す推奨量として報告されている量を、約50gで抗肝障害効果を示す推奨量として報告されている量を摂取できるほどSAM含量が高く、他にも現実的な摂取量で機能を示してもおかしくない量のSAMを含有している酒粕が多数あった。WebMDのデータベース⁶⁾等にあるように、SAMが摂取できる食品はないと認識されており、酒粕は、補助食品等を除き、現実的な摂取量でSAMの機能性を示してもおかしくない量を摂取できる唯一の食品であるといえる。

なお、SAMは保存安定性が低い成分であるが、酒粕中では比較的安定であった。SAMは酵母の液胞中に存在していると考えられており、そのことがSAMの安定性に寄与している可能性がある。

一方、凍結乾燥では安定であったが、加熱安定性は低く、加工方法によっては維持することが難しい成分であった⁷⁾。

(2) 葉酸

葉酸は、胎児の神経管閉鎖障害リスクを低減する機能性成分で、世界86カ国以上で穀類等に強制的な添加が行われている成分である。

葉酸不足はホモシステイン濃度を増大させ(第1図)、脳梗塞や心筋梗塞リスクを増大させる。なお、脳梗塞や心筋梗塞は老化や脳機能に直接関係する疾病である。米国等葉酸を穀類等に強制添加している国々では、胎児の神経管閉鎖障害の減少のみならず、疾病リスクが低減し、医療コストも低減したと報告されており、葉酸不足の解消は老化抑制や脳機能維持・改善に有効であることを示唆している。

日本でも埼玉県坂戸市で葉酸摂取を主体としたプロジェクトが行われ、医療費の削減効果等が見られた⁸⁾。

このことは、日本でも葉酸摂取が不足している、葉酸摂取が疾病予防に有効であることを示している。なお、日本人の葉酸摂取推奨量の議論においては、葉酸代謝経路の遺伝子変異のためより多くの葉酸摂取を必要とする日本人が15%にのぼること、アルコール摂取が葉酸の吸収を低下させるため飲酒者はより多くの葉酸摂取が必要になること、老化による脳萎縮⁹⁾や習慣的飲酒による脳萎縮と血中のホモシステイン濃度には関連があるとされており老化防止や飲酒において意識して摂取すべきビタミンの一つと考えられることに、留意が必要と思われる。

酒粕に含まれる主な葉酸はTHF (tetrahydrofolate) と5CH₃-THF (5-methyltetrahydrofolate) であるが、5CH₃-THFはSAMを合成するメチオニンサイクルで、ホモシステインにメチル基を渡し、ホモシステインを減少させ、THFとなる(第1図)。

なお、5CH₃-THFは安定な物質であるが、酒粕中の5CH₃-THFは4℃1ヶ月という短い期間で大幅に減少した。一方、凍結乾燥や加熱処理、嫌気的条件下での保存等で安定化することから、好気条件下での酵母代謝により葉酸が減少しているものと考えられた。

おって、製造方法により酒粕の葉酸含量は異なっていたが、使用酵母の違い¹⁰⁾が葉酸含量に影響を与える要因の一つと考えられた。最も葉酸を高含有する酒粕は、成分表¹¹⁾に載る食品2,478食品中17位の食品よりも高含有であった。葉酸は他の食品にも含まれており、不足量の葉酸を補えばよい計算ではあるが、最も葉酸を高含有する酒粕は約40gの酒粕摂取だけで成人が1日に必要な量を摂取できる計算になる。また、酒粕に含まれる葉酸は他の食品に含まれる葉酸と同様、ポリグルタミン酸型の食事性葉酸であり、サプリメントに使われるモノグルタミン酸型の合成葉酸のような耐容上限量が決められておらず、過剰摂取の心配が少ないことも指摘したい。

(3) ポリアミン

スベルミンやスベルミジンなどのポリアミンは大豆や納豆に高含有されている成分であるが、酒粕中に高含有されていた。ポリアミンは正常マウスの寿命延長効果を示したはじめての成分で、SAM代謝と近い(第1図)。抗炎症作用等が知られているが、脳や脳機能に関する文献も多い(第4表)。

第4表 酒粕に高含有されている成分(左列)とキーワード(上行)の組合せによる検索でのPubMed 検索ヒット数(2021年9月1日検索実施)

	(total)	aging	brain	depression	alzheimer
SAM ¹⁾	10,158	257	959	373	112
folate	64,235	1,532	2,655	1,175	686
GPC ²⁾	2,053	61	404	34	57
polyamine	105,199	928	8,495	1,336	362
agmatine	1,637	23	391	79	20
(参考) polyphenol	46,622	2,365	2,534	375	1,190

1) “adenosylmethionine” として検索

2) “glycerophosphocholine” として検索

最もポリアミンを高含有する酒粕のポリアミン含量はポリアミン含量が報告されている46食品中7位の食品¹¹⁾の含量を超える含量であった。

(4) グリセロホスホコリン (GPC)

GPCは、イタリアやロシアでは知的機能障害等に対応する医薬品として、米国ではコリンの補給剤として流通している成分であるが、酒粕中に高含有されていた。なお、コリン不足は肝機能の低下や免疫低下等をもたらすことが知られている。

GPC含量の最も高い酒粕は、報告のある634食品中3位の食品¹²⁾より高含有であった。

(5) アグマチン

アグマチンはポリアミン中間体で、近年脳機能関係の論文が多く報告されている¹³⁾(第4表)。清酒に高含有されていることが知られているが、酒粕重量の約半分を占める水分は清酒であり、仮に水分以外に全く含有されなくても、清酒の半分の含量が酒粕に含まれる計算となる。

高含有している酒粕は、F. Galganoらの報告¹⁴⁾など計938食品中3位の食品より高含有であった。

(6) ビタミンB₆

ビタミンB₆はタンパク質代謝に不可欠で、欠乏によるホモシステインの増大が知られている。葉酸の項で紹介したように、ホモシステインは脳梗塞や心筋梗塞リスク、脳萎縮とも関係が深い成分であり、増大は好ましくない。

成分表¹⁾で酒粕のビタミンB₆含量は2,478食品中23位であるが、最も高含有していた酒粕は1位のと

うがらし並の含量であることがわかった。

ここまで示したように、酒粕中には、処方薬や補助食品として、あるいは穀類への強制添加ビタミンとして、長い流通実績のある複数の機能性成分が機能性を示してもおかしくない量が含まれている。これらの機能性成分は代謝経路上も近くに存在し(第1図)、報告のある機能性が似ているものも多く、摂取後にヒトや腸内細菌の代謝で変換される可能性や、成分どうしが協調的に効果を示す可能性も考えられる。

2. 酒粕高含有成分と老化・脳機能研究

本研究で測定した成分のうち5つの成分について、「老化」や「脳機能」関係の論文がどの程度報告されているのか論文のキーワード検索により調べた(第4表)。第4表は、論文検索サイトPubMed¹⁵⁾で「成分名」と「老化や脳機能に関するキーワード」の二つで検索し、抽出された論文数をまとめたものである。(total)は成分名単独の検索によるヒット数であるが、老化(aging)、脳(brain)、気分の落ち込み(depression)、アルツハイマー(alzheimer)と関係する論文が相当数あることがわかる。参考のため、最下欄にはワインに含まれるポリフェノールで検索した場合の論文ヒット数を示した。

このやり方だと、直接関係のない論文もまれに抽出されてしまうものの、関連を示す論文が多く抽出されてくる。抽出論文数が多い成分はキーワードと一定の関連があることを示し、検索結果は、いずれの成分も「老化」や「脳機能」と直接・間接に関連した報告が多数あることを示している。

3. 酒粕投与のヒト試験

酒粕の機能性研究については、論文のみならず、特許や学会発表も含めた報告が2015年にまとめられた¹⁶⁾。酒粕の健康機能として見出しには、皮膚（保湿や角質除去、美白、皮膚炎改善など）、血管、腸内環境（の改善）、脂質（コレステロール上昇抑制や脂質排出）、抗酸化、肝保護、自発運動量、ガン、免疫、その他があり、解説されている。一方で、ヒト試験として確認されたものは少なく、特許や学会発表が多く、ヒト試験の論文があまりない。

つまり、酒粕の健康機能は動物実験や細胞を用いた実験等で可能性の高さが示されているものの、ヒト試験で十分に立証されていない段階にあるものが多いことになる。

ヒト試験が少ない酒粕研究であるが、藤井は伊豆とともに、兵庫県立大学の永井先生、京都医療センターの坂根先生、広島大学の松原先生と共同で、健常高齢者を対象とした無作為化二重ブラインドプラセボ比較試験を行った¹⁷⁾。被験者は1日2回12週間酒粕を用いた甘酒もしくはプラセボを摂取するとともに運動も行い、甘酒摂取による上乗せ効果を検証するものであった。

運動の効果への上乗せ効果を検証する試験であり、酒粕のみの効果を検証する試験でなかったほか、SAMのように加工工程で含量が大幅に減少⁷⁾した成分があったにもかかわらず、認知やうつスコア、ロコモスコアなど、老化や脳機能に関係する項目で有意差が見られた。SAMなどの機能性成分含量を保持できる加工条件により加工された酒粕を用い、酒粕の摂取効果のみを見る実験を行うことができれば、さらに効果がはっきりすると考えられた。

本試験での脱落者は少なかったが、1日2回12週間の甘酒摂取は被験者にとってやや厳しいように思われる。今後、機能性成分を高く維持できる加工条件や甘酒以外の酒粕摂取法を開発し、再度、酒粕によるヒト試験を行うことができたらと考えている。

おわりに

酒粕の研究についてはヒト試験の論文が少ないものの、酒粕の機能性成分含量調査結果や今回あまり紹介しなかった動物実験、ヒト試験の結果等は、いずれも

酒粕が潜在力の高い食材であることを示している。酒粕の研究者が増え、酒粕の有効利用が進み、高齢化が進む日本人の健康や老後QOLの改善、医療費削減等に寄与できることを願っている。

最後に、貴重な酒粕試料や清酒製造条件等をご提供いただきました全国の清酒製造場の皆様に、心より御礼申し上げます。なお、本稿で紹介した我々の研究の一部は、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代農林水産業創造技術」による助成を受け実施いたしました。また、一部は日本酒造組合中央会との共同研究により実施しています。心より感謝申し上げます。
(福島大学食農学類)

参考文献

- 1) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会編：日本食品標準成分表2020年版（八訂）
https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhin/seibun/mext_01110.html (2021年9月1日閲覧)
- 2) 日本醸造協会編：醸造物の成分（日本醸造協会、東京）第XII章ビタミン 91-95（1999）
- 3) S. Shiozaki, S. Shimizu and H. Yamada : *Agric. Biol. Chem.*, **48**, 2293-2300 (1984)
- 4) 藤井力, 伊豆英恵, 松原主典 : *生物工学*, **97** (10), 595-598 (2019)
- 5) 関口喜則 : *食品と開発* **45** (8), 57-59 (2010)
- 6) <https://www.webmd.com/diet/supplement-guide-sam-e> (2021年9月1日閲覧)
- 7) H. Izu, S. Yamashita, H. Arima and T. Fujii : *Biosci., Biotech., Biochem.* **83** (8), 1477-1483 (2019)
- 8) Y. Kagawa, M. Hiraoka, M. Kageyama, Y. Kotani, M. Yurimoto, C. Nishijima and K. Sakamoto : *Congenit. Anom. (Kyoto)*, **57** (5), 157-165 (2017)
- 9) A.D. Smith, S.M. Smith, C.A. de Jager, P. Whitbread, C. Johnston, G. Agacinski, A. Oulhaj, K.M. Bradley, R. Jacoby and H. Refsum : *PLoS One* **8** : 5 (9) : e12244 (2010)
- 10) Y. Shibata, T. Yamada, T. Morimoto, T. Fujii, T. Akao, T. Goshima, T. Takahashi and N. Tanaka : *J. Biosci. Bioeng.*, **129** (1), 1-5 (2020)
- 11) A. Okamoto, E. Sugi, Y. Koizumi, F. Yanagida and S. Udaka : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **61** (9), 1582-1584 (1997)

- 12) K.Y. Patterson, S.A. Bhagwat, J.R. Williams, J.C. Howe and J.M. Holden : USDA Database for Choline content of Common Foods (2008)
 - 13) G. Laube and H.G. Bernstein : *Biochem. J.* **474** (15), 2619-2640 (2017)
 - 14) F. Galgano, M. Caruso, N. Condelli and F. Favati : *Front. Microbiol.* **3** : 199 (2012)
 - 15) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov> (2021年9月1日閲覧)
 - 16) 伊豆英恵, 鎌田直樹, 高橋千秋 : 醸協, **110** (4), 198-206 (1995)
 - 17) N. Nagai, N. Shindo, A. Wada, H. Izu, T. Fujii, K. Matsubara, Y. Wada and N. Sakane : *JPAD*, **7**, 95-103 (2020)
-

執筆者紹介 (順不同・敬称略)

藤井 力 < Tsutomu Fujii >

1963年生まれ<勤務先と所在地>福島大学食農学類
〒960-1296 福島県福島市金谷川1 <略歴> 1989年早
稲田大学大学院理工学研究科修了, 同年国税庁入庁,
1993年国税庁醸造試験所 (現独立行政法人酒類総合

研究所) 研究員, 2019年部門長にて退職, 同年福島
大学食農学類教授, 現在に至る<抱負>これまでの経
験や教えていただいたことを活かし, 実践的な役立つ
研究や教育を通じて次の人材を育成したい<趣味>い
まあまりできませんが, 食べ歩きや旅行