米飯変敗の科学

微生物的変敗とその制御

内藤 茂三
著

建帛社

KENPAKUSHA

Science of Cooked rice
Causing Microorganisms Deterioration and Control

by
Shigezou Naitou

©Shigezou Naitou, 2025, Printed in Japan

Published by
KENPAKUSHA Co., Ltd.

2-15 Sengoku 4-chome, Bunkyo, Tokyo 112-0011, Japan

まえがき

現在、米飯市場には日配米飯をはじめとして、レトルト米飯、冷凍米飯、無菌充填包装米飯、チルド米飯、缶詰米飯などのさまざまに加工された米飯が広がっている。このような急速な米飯業界の成長の要因として、世帯人数の減少、単身赴任者の増加、女性の社会進出による簡便化ニーズの高まりや美味しくて安いおにぎりや弁当などの米飯を販売するコンビニエンスストアの発達があげられる。また、米飯食品は地域ブランドとして育てるため各地域の行政や有志によってこれらを盛り上げる組織が結成されている。

米飯はでんぷん質を主成分とし水分量が多いので変敗を生じやすい。高温で保存すると糸を引くようになり食べられなくなるが、変敗が激しくなると米粒が軟化・溶解することはよく知られている。米飯の変敗は極めて単純で、関係する微生物も複雑なものではない。それは、米飯の成分組成はでんぷんを主体としたもので、100℃で炊き上げるために炊飯直後の変敗細菌は *Bacillus subtilis* に限られるが、そのほか米飯を炊いた後に蓋を開いた直後から汚染する微生物に由来する。

また *Bacillus* が産生する多糖類などが原因となるロープ、ネトといったバイオフィーム形成が見られる。*Bacillus* が産生する多糖類は多く、細胞内、細胞壁および細胞外に産生するが、生存のための自己防衛や、ほかの生物や食品に付着しやすくするために産生していることが多い。*Bacillus* のバイオフィーム形成はクロラムセンシングにより行われ、ほかの微生物や防腐剤などから細胞を守るために行われる。食品変敗過程ではこれらの現象は単独に起こるのではなく、2つ以上の現象が同時に進行している場合が多い。これらの食品変敗機構を解明することにより、微生物の知恵を学ぶことは有益であると思われる。

米飯業界は、科学的精神で自社の食品変敗の問題に近接すべきであり、問題を解決させるために必要かつ正確な情報を持つべきであるという、一般的な健

全な感情が広く存在しているけれども、米飯変敗の問題については比較的最近まで主としてこれまでの経験に基づいて行われてきた。しかし業界でも米飯変敗の原因に対する正確な情報を持つために、研究論文や統計資料を調べ、原因追究をする研究部門が設置されるようになった。だが、これらの研究部門で得られた事実および結論は内部秘密とされ、これがほかの企業のそれと比較されることは少なかった。

微生物による米飯変敗は一定の規則に従って生成するので、原因解明および対策標準の設定は米飯産業全体に貢献すると考えられる。

いろいろな米飯に対し、さまざまな条件の下で効果があることが立証されている方法は、基本的な関係に従って収集し分類されるならば、同一または異なった条件の下での他の食品において、さまざまな条件下で効果的であると立証された方法と比較することができる。したがって、この基本的原理は、合理的な思考の方向および健全な判断の形成を示すものとなる。

米飯変敗に関してできるだけ多くのことを紹介するように努めたが、行き届かない点や不十分な点も多く残っていると思う。また、著者が間違っ理解している点があるかもしれない。この点については読者の方々からのご意見やご批判をいただきたい。

本書が米飯変敗の機構に注意を喚起し、この分野で研究する端緒になれば著者の望外の喜びになるであろうと信じている。

おわりに、本書の出版にあたり精神的支援をいただいた内藤まさ氏、ご尽力・ご協力を賜った建帛社の編集部の方々に感謝する。

2025年2月

内藤茂三

目 次

第1章 寿司の微生物変敗と制御

1.1 寿司の歴史と社会性	1
1.2 寿司と微生物	4
1.2.1 ホンナレ寿司の微生物	4
1.2.2 ナマナレ寿司の微生物	6
1.2.3 飯寿司（いずし）の微生物	12
1.2.4 各地の代表的な寿司と微生物	20
1.3 寿司の微生物変敗と制御	35
1.3.1 米飯の微生物変敗と制御	35
1.3.2 散らし寿司の微生物変敗と制御	37
1.3.3 巻き寿司の微生物変敗と制御	43
1.3.4 握り寿司の微生物変敗と制御	52

第2章 混ぜ飯および炊き込み飯の微生物変敗と制御

2.1 混ぜ飯の微生物変敗と制御	63
2.1.1 混ぜ飯の特徴	63
2.1.2 混ぜ飯の微生物	65
2.1.3 各地の代表的な混ぜ飯と微生物	66
2.1.4 混ぜ飯の微生物変敗	88
2.1.5 混ぜ飯の微生物制御	91
2.2 炊き込み飯の微生物変敗と制御	96
2.2.1 炊き込み飯の特徴	96
2.2.2 炊き込み飯の微生物	99
2.2.3 各地の代表的な炊き込み飯と微生物	101
2.2.4 炊き込み飯の微生物変敗	116
2.2.5 炊き込み飯の微生物制御	118

第3章 炒飯の微生物変敗と制御

3.1 炒飯の歴史	127
3.2 炒飯の調理技術	127
3.2.1 炒飯のこつ	127
3.2.2 炒め方の技術	129
3.3 炒飯の種類と微生物	131
3.3.1 具材による微生物の特徴	131
3.3.2 各地の炒飯と微生物	142
3.4 炒飯の変敗微生物	143
3.4.1 炒飯の食中毒に関連する微生物	143
3.4.2 炒飯の変敗に関連する微生物	156
3.5 炒飯の微生物変敗制御	160
3.5.1 炒飯製造工場における二次汚染制御	160
3.5.2 炒飯原材料の一次汚染制御	161

第4章 おにぎりの微生物変敗と制御

4.1 おにぎりの歴史と特徴	177
4.1.1 おにぎりの歴史	177
4.1.2 おにぎりの特徴	179
4.1.3 おにぎり用の米	187
4.2 おにぎりに組み合わせる食品	192
4.2.1 おにぎりに合う惣菜と微生物	192
4.2.2 おにぎりの副菜と微生物	195
4.3 おにぎりの微生物変敗と制御	202
4.3.1 おにぎりの包装と微生物制御	202
4.3.2 おにぎりによる食中毒	204
4.3.3 おにぎりの微生物変敗	207
4.4 おにぎりの微生物制御	211

- 4.4.1 おにぎりの製造工程での微生物汚染制御 211
- 4.4.2 おにぎりの微生物変敗抑制と制御 212

第5章 粥、雑炊の微生物変敗と制御

- 5.1 粥、雑炊の歴史と社会性……………227
 - 5.1.1 粥、雑炊の細菌 228
 - 5.1.2 粥、雑炊の酵母 230
 - 5.1.3 粥、雑炊の微生物制御 231
- 5.2 粥と微生物変敗……………232
 - 5.2.1 粥の特質 232
 - 5.2.2 粥の微生物変敗と制御 237
- 5.3 雑炊の微生物変敗……………249
 - 5.3.1 雑炊の特質 249
 - 5.3.2 雑炊の微生物変敗 251
 - 5.3.3 雑炊の微生物変敗制御 259

第6章 赤飯とおこわの微生物変敗と制御

- 6.1 もち米の歴史と社会性……………265
- 6.2 もち米と微生物……………266
 - 6.2.1 もち米の品種と微生物 266
 - 6.2.2 モチ米の変敗微生物 269
- 6.3 赤飯と微生物変敗……………272
 - 6.3.1 赤飯の歴史と郷土色 272
 - 6.3.2 赤飯の微生物変敗 277
 - 6.3.3 赤飯の微生物変敗制御 283
 - 6.3.4 赤飯の保存形態と微生物 286
- 6.4 おこわと微生物変敗……………287
 - 6.4.1 おこわの歴史と郷土色 287

目 次

6.4.2 おこわの微生物変敗と制御	291
6.4.3 おこわの保存形態	303
6.5 赤飯, おこわの惣菜の微生物	304

第7章 丼物の微生物変敗と制御

7.1 丼物の歴史と特徴	315
7.1.1 丼物の歴史	315
7.1.2 丼物の特徴	316
7.2 主な丼物と微生物制御	318
7.2.1 ウナギ丼	318
7.2.2 天丼	325
7.2.3 親子丼	331
7.2.4 牛丼	336
7.2.5 豚丼	342
7.2.6 カツ丼	347
7.2.7 海鮮丼	354

第8章 米飯弁当の微生物変敗と制御

8.1 米飯弁当の歴史と社会性	365
8.1.1 米飯弁当の歴史	365
8.1.2 米飯弁当と社会性	367
8.2 代表的な米飯弁当	375
8.2.1 日の丸弁当	375
8.2.2 海苔弁当	375
8.2.3 駅弁	377
8.2.4 幕の内弁当	379
8.2.5 懐石弁当	385
8.3 米飯弁当による食中毒	388

8.3.1	米飯弁当の食中毒菌	388
8.3.2	米飯弁当による食中毒事例と対策	390
8.4	米飯弁当の微生物変敗と制御	394
8.4.1	弁当および惣菜の衛生規範の廃止と微生物管理	394
8.4.2	弁当製造工場における微生物汚染制御	402

第9章 レトルト米飯および無菌包装米飯の微生物変敗と制御

9.1	レトルト米飯の歴史と特徴	409
9.1.1	レトルト米飯の歴史	409
9.1.2	レトルト米飯の製法と包装形態	410
9.1.3	レトルト米飯の特徴	414
9.2	レトルト米飯と微生物	415
9.2.1	レトルト米飯の微生物による変敗様式	415
9.2.2	レトルト米飯と <i>Bacillus</i>	420
9.2.3	レトルト米飯の変敗微生物	425
9.3	無菌包装米飯の歴史と特徴	432
9.3.1	無菌包装米飯の歴史	432
9.3.2	無菌包装米飯の特徴	433
9.3.3	無菌包装米飯の製造方法	437
9.4	無菌包装米飯の微生物	441
9.4.1	無菌包装米飯の微生物による変敗様式	441
9.4.1	無菌包装米飯の変敗微生物と制御	442

第10章 チルド米飯および冷凍米飯の微生物変敗と制御

10.1	チルド米飯の歴史と特徴	455
10.1.1	チルド米飯の歴史	455
10.1.2	チルド米飯の特徴	457
10.2	チルド米飯加工の科学	459

目 次

10.2.1	チルド米飯における米の洗浄と浸漬	459
10.2.2	米の洗浄による微生物制御	460
10.2.3	米の浸漬と水加減	461
10.2.4	米の加熱および蒸らしと微生物	462
10.2.5	チルド米飯の冷却温度と微生物	463
10.2.6	チルド米飯の老化と制御	464
10.2.7	チルドの温度帯区分	465
10.3	チルド米飯と微生物	467
10.3.1	原料米由来の微生物	467
10.3.2	チルド米飯の変敗微生物	468
10.3.3	チルド米飯における食中毒	471
10.4	チルド米飯の微生物変敗制御	473
10.4.1	チルド米飯の微生物変敗対策	473
10.4.2	チルド米飯の二次汚染による微生物変敗と制御	473
10.5	冷凍米飯の歴史と特徴	476
10.5.1	冷凍米飯の歴史	476
10.5.2	冷凍米飯の特徴	477
10.5.3	冷凍米飯の製造工程	480
10.6	冷凍米飯加工の科学	483
10.6.1	冷凍米飯における米の洗浄と浸漬	483
10.6.2	冷凍米飯の冷却	484
10.7	冷凍米飯の微生物変敗と制御	485
10.7.1	冷凍米飯の微生物変敗	485
10.7.2	冷凍米飯による食中毒	488
10.7.3	冷凍米飯の微生物変敗制御	489
索引		497

第 1 章

寿司の微生物変敗と制御

1.1 寿司の歴史と社会性

寿司とされる料理には、酢をあてて酸味を呈する早寿司と、酢を使わずに自然発酵によって酸味を得るナレ寿司がある。寿司のルーツは東南アジアの山民の魚肉保存食だと考えられ、高地ゆえ入手困難な魚肉を長期保存するために食塩とでんぷん質の中で発酵させ、酸味がついた食品が寿司の起源であるとされている¹⁾。

また一説によれば、この種の食品は東南アジアに広く分布し、盛んに作られるのは東南アジアでも低地の稲作地帯で、そこでは水田耕作と密接に関連した自給的な漁業が展開されている。魚肉を米などのでんぷん質の中で発酵させる方法は、山間部よりも水田地帯で稲作とともに成立したとされている²⁾。

この東南アジアの発酵食品が中国に伝わった。文献的初出は3世紀に編まれた字典『せつもんかいじ節文解字』で、塩と米とで醸し出した魚の漬物を寿司と表記する旨が記載されている³⁾。

日本における寿司は中国大陸から稲作が伝来した奈良時代（710～794年）にこれと一緒に伝わった加工法のひとつとされている。隋（581～618年）から唐（618～907年）は中国における寿司の勃興期でもあり¹⁾、わが国が律令制度をはじめ中国の文化を積極的に導入した奈良時代には日本でも盛んに寿司が作られていた。

寿司は奈良時代の木簡や平安時代（927年）に完成した『えんぎしき延喜式』という宮中における技行や制度を記載した律令中にも記載され、各地の郷土の産物として数多くが献納されている。なかでも、大和、伊勢、美濃の年魚（アユ）寿司

や近江のフナ寿司は現在においてもそれぞれの地域の伝統食とされている。古代の寿司は、魚に塩を合わせて米飯に漬け、乳酸発酵させたナレ寿司（ホンナレ寿司）で、熟成発酵させて液状化した飯は食べるものではなく、こそげ落として魚だけを食べていたが、室町時代中期以降は発酵を早い段階で止めて飯と一緒に食べるナマナレ寿司が主流となった。寿司が飯料理となるのは、この時期からである³⁾。ナレ寿司は川魚を用いることが多く、発酵させて保存すると数か月から数年は保存できると言われているが、ナマナレ寿司が主流となって以降は長期保存の意図が減少したと言える。

日本の代表的な伝統食品であり、食文化である寿司は、異文化との接触や地域産物の利用、嗜好の変化に伴って、長い年月の間に姿、形、作り方、食べ方が大きく変化してきた。

寿司には箱で形を作る箱寿司をはじめとして、押し寿司、巻き寿司、稲荷寿司、茶巾寿司、握り寿司など多くの種類がある。西日本で一般的な箱寿司は大阪寿司や岩国寿司で、成形に箱を用いる。これらは箱に入れてから押すので押し寿司、あるいは切り分けて食べるので切り寿司とも呼ばれている。姿寿司、棒寿司は成形に布巾や巻簾まきすを用いるが、寿司箱に入れて押しをかける場合もあり、丸寿司、魚寿司とも呼ばれている。

巻き寿司を巻く食材としては、浅草海苔（岩海苔、有明海苔を含む）、笹、菊の花、漬物（高菜、青菜）、ミョウガの葉、アブラギリの葉、柿の葉ほおの葉、ワカメ、トコロ昆布、薄焼き卵、湯葉などが見られ、巻簾にはフグの皮、紙、藁などが使用される。

日本全国にはその地域の特産物を活かしたさまざまな行事食がある。それらは、海辺の地域では海産物類、山地の地域では山菜類、平地の地域ではそこで採れた野菜や穀類を盛り込んだ社会性のあるものである。米と魚が融合して作り出されたのが寿司であり、ハレの日の食事であり、行事食でもある。寿司は米飯とおかずが合体したものであるため、利用する側から見ても作る側から見ても、都合がよいと考えられる。

発酵させるものも酢を混ぜるものも、また、箱に入れてしっかり押し付けるものも全く押さえないものも、握るものも巻くものも、手提げ袋に詰めるものも寿司である。718年に制定された法典『養老律令』ようろうりつりょうは、日本における寿司の

最古の文献とされている¹⁾。

発酵時間の短縮のために発酵促進剤として米麴^{こうじ}、酒、酒粕、酢が混和された。これが東北・北陸地方で見られる発酵寿司である秋田県のハタハタ寿司、山形県の粥寿司、富山県、石川県の蕪^{かぶら}寿司、福井県のニシン寿司、飛騨の寝^ね寿司である。飯が乳酸になるためには、その中でんぷんがまず糖化される必要があるため、この糖化を促進するアミラーゼに富んだ米麴を添加する。また、わが国の寿司は2通りの形式により発展してきた。一つはアユやサバなどの尾頭付きの魚をそのまま用いて、腹に飯を詰めるもので、姿寿司と呼ばれる。もう一つは魚をおろし身や切り身にしたものを寿司として漬けるもので、切り身漬^しけ寿司と呼ばれる³⁾。

江戸時代初期に名物になった寿司には奈良県のアユの釣瓶^{つるべ}寿司、大阪府のエブナ（江ブナ）の雀^{いずし}寿司、京都府の六条飯^{いずし}寿司などがある。稲荷^{いなり}寿司は『守貞謾稿』によると1840年ごろに、油揚げの小袋に五目寿司を詰め、稲荷^{いなり}寿司、篠田^{もりさだ}寿司として売られたと記録されている⁴⁾。

握り寿司は1820年ごろ江戸両国で販売された。それは、小さく握った飯の上に魚を置き、箱の中に詰めて押したものであった。この押した寿司は魚の脂分が抜けるので、改良されたのが握り早漬けという、現在の握り寿司である。『守貞謾稿』によると、当時の握り寿司の寿司種は卵焼き、アナゴ、シラウオ、マグロの刺身、コハダで、巻き物は海苔巻き、卵焼きの太巻きであった。この時代はマグロの刺身とコハダを握るときにのみ、間にワサビを挟んだ。明治時代になって握り寿司が寿司の標準になった。また戦後の1947年には飲食営業緊急措置令が発布された。これは戦後の食糧難により、飲食業の営業を事実上禁止したものであるが、東京の寿司組合は、1合の米と引き換えに握り寿司を10個渡すというかたちで、営業を飲食業ではなく、委託加工業の寿司商という正当な商売として続行させた。各地の組合もこれに準じて同様に許可を受けたが、その際、米1合が握り寿司10個という割合も踏襲された。したがって、いずれの地域においても握り寿司でなければ寿司商売はできなくなり、ここにおいて握り寿司1個当たり米1勺（1合の1/10）なるサイズの握り寿司が全国的に定着した³⁾。また寿司の社会性は、1958年に大阪で誕生し、1970年の大阪万博で大きく普及した回転寿司の隆盛、およびテイクアウト寿司の多様化により大

大きく変化した。

各地の代表的な寿司には、ホンナレ寿司、ナマナレ寿司、飯寿司^{いずし}、姿寿司、卯の花寿司、握り寿司、散らし寿司、五日寿司、巻き寿司、印籠寿司、変わり寿司などがある。

先述したようにナレ寿司にはナマナレ寿司とホンナレ寿司の2つの系統があるが、主流となっているナマナレ寿司は日本海側から北海道にかけての飯寿司の系統で、米飯以外に麴を使用する寿司である。代表的な寿司は、北海道のサケ・マスの飯寿司、青森県のホッケの寿司とサケの飯寿司、岩手県のカブの寿司漬け、秋田県の花ハタの寿司、山形県の飯寿司、新潟県のサケの飯寿司、富山県のサバ寿司、福井県のサケ、アジ、イワシ、フグなどのヘシコを用いた寿司、石川県の蕪寿司、鳥取県のアユやシイラを用いた寿司である⁵⁾。

また、早寿司系統の寿司としては、東京の江戸前握り寿司、静岡県 GENNARI 寿司、三重県の手捏ね寿司、沖縄県の大東寿司がある。福島県、栃木県、岐阜県、和歌山県、三重県でもアユ寿司が知られている。その他の魚種としては、ドジョウ、ナマス、ウナギがある。ウナギのナレ寿司である宇治丸、ドジョウのナレ寿司、コイのナレ寿司、魚類以外ではイノシシのナレ寿司は最近ほとんど作られていない。アマゴの荒巻き寿司もナレ寿司で、縄で巻き締めたものである⁵⁾。日本で寿司が改良・進化を遂げた理由は、日本で主に栽培されているジャポニカ種の米に由来している。ジャポニカ米は冷めても美味しいという特徴があるため、寿司の社会性の発展に大きく寄与した。

1.2 寿司と微生物

1.2.1 ホンナレ寿司の微生物

日本のホンナレ寿司の分布は極めて少なく、ほぼ滋賀県のフナ寿司のみだと考えられる。フナ寿司はわが国の寿司のルーツとも言われ、現存する唯一のホンナレ寿司で、一緒に漬け込んである飯は食べずにフナだけを食べる。

ホンナレ寿司は、主に魚を塩と米飯で乳酸発酵させた食品である。ホンナレ寿司は乳酸菌による乳酸発酵により酢酸、乳酸などの有機酸を生じさせるもので、現在の酢飯を用いる握り寿司を中心とした早寿司とは全く異なる。乳酸菌