一 般 財 団 法 人　油 脂 工 業 会 館

第54回 表 彰

油 脂 産 業 優 秀 論 文

審 査 委 員 特 別 賞

食品ロス削減に向けた油脂産業の貢献

タンニン含有赤米油の有効活用を起点とする アジア開発途上国リステージ構想 ～ Sun-Rice Restage ～

花 王 株 式 会 社

多勢（たせ）　雄一郎（ゆういちろう）

＜目次＞

はじめに　・・・

はじめに

ロシアがウクライナに軍事侵攻を開始してから、「世界的な食糧危機」という言葉を一体何度目にしただろう。もともと世界では開発途上国[注釈1]を中心として 9 人に 1 人が栄養不足と言われている[1)]中、穀物や油糧種子等の世界的な生産国であるロシア、ウクライナからの輸出が滞ることで、更なる食糧不足の進行が懸念されている。このような深刻な状況にも関わらず、今この瞬間も世界では大量の「食品ロス」が発生している。FAO [注釈2]の報告書によれば、全世界の食品廃棄量は約 13 億トンであり、これは世界の食品全生産量の 3 分の 1 にも達する[2)]。貧困を撲滅し、地球を守り、誰もが繁栄を享受できるようにすることを目的として採択された[3)] SDGs [注釈3]には「1 : 貧困をなくそう、2 : 飢餓をゼロに」という目標[4)]があるが、食糧を本当に必要としている開発途上国の人々に届けるために、食品ロス削減が喫緊の課題であることは言うまでもない。

そこで本論文では、食糧不足が深刻な開発途上国が抱える農業課題を論じた上で、開発途上国と油脂産業が手を取り合うことで食品ロスを大幅に削減する方策について考察し、食糧不足を解消しながら開発途上国と油脂産業が共に大きく成長していくという、上記 SDGs の目的にも適(かな)う新規事業モデルを提案する。具体的には、アジア開発途上国のコメ生産場面において混入し廃棄対象ともなる「赤米（あかまい）」に着目する。古代米の一つである赤米は、日本においては赤飯の起源とも言われ、収穫の時期になると田んぼ全体が太陽のように真っ赤に色づく[5)]。赤米からはタンニン等の抗酸化物質[注釈4]を豊富に含む「赤米油」が抽出できる。これを用いて普通米をコーティングし、「赤米油コーティング米」とすることで、大規模な食糧損失低減、コメの高付加価値化を達成でき、この「赤米油」という新規の油脂開発が油脂産業の発展にもつながることを詳細に説明する。真っ赤な赤米の力によって、太陽が昇るが如(ごと)くリステージが起こることを期待し、今回提案するアジア開発途上国リステージを「Sun-Rice Restage」と名付ける。

第１章　食品ロスの現状と課題

１－１．食品ロス削減の重要性

世界の人口は 2019 年時点で約 77 億人であるが、2050 年には約 97 億人に達すると試算されている[6)]。近年、生産効率の指標である単収[注釈5]の数値は伸び悩み、地球温暖化や水資源の制約等によって世界の農作物生産性は不安定さを増している[7)]。これまでのような右肩上がりの食糧生産量増加は困難であり、大量に発生する食品ロスを削減することの重要性が高まっていると言える。

１－２．先進国における食品ロスについて

食品ロスはフードサプライチェーン[注釈6]のさまざまな場面で生じているが（図 1）、日本のような先進国では、もっぱら流通、消費場面における食品ロス（浪費）が多い。流通場面での食品ロスについては、「3 分の 1 ルール[8)]」に代表されるように、過度に消費期限や賞味期限を意識した流通システムが原因となっているが、今後、AI[注釈7]による食品需要予測[9)]に基づいた供給体制構築等が進んでいけば、流通場面での食品ロスの大きな削減が見込めるであろう。

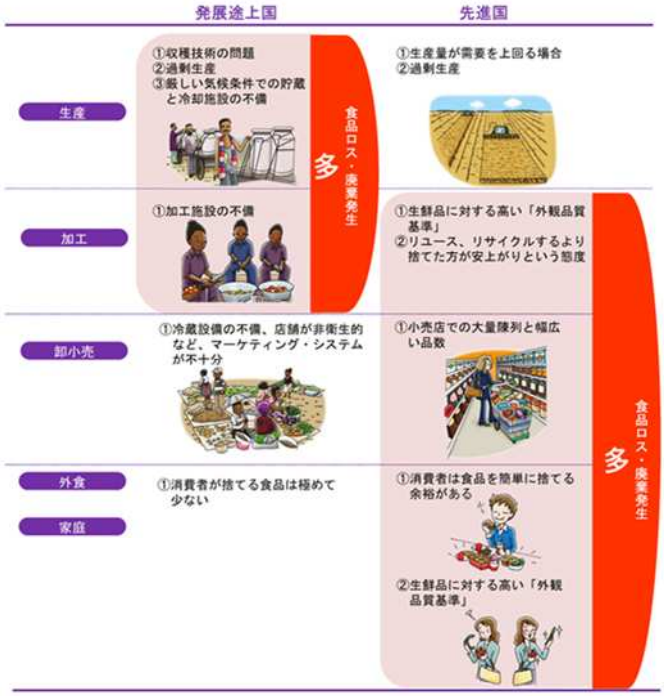

図１　フードサプライチェーンにおける食品ロス

（出典：（公社）国際農林業協働協会「世界の食料ロスと食料廃棄」）

消費場面では、家での料理の作り過ぎによる食べ残しや、買ったのに食べずに捨ててしまうこと等によって多くの食品ロスが生じている。こちらについても、ロシアのウクライナ軍事侵攻以後、食品、エネルギーコストが急激に上昇していることから、消費者の食品コストへの意識、ひいては食べ残しを減らす意識もおのずと高まっていくと考えられる。

このように、先進国では、食品ロス（浪費）が多い流通、消費場面いずれにおいても、今後食品ロスに対して抑止力が高まっていくと筆者は予測している。

１－３．開発途上国における食品ロスと農業課題

先進国では、流通、消費場面における食品ロス（浪費）が多いが、開発途上国に目を向けてみると、厳しい経済状況下であるために消費場面で食品が廃棄されることは多くはない。しかしながら、食糧の生産場面では、作物を栽培しても技術不足で収穫ができなかったり、流通環境や保存設備等のインフラが整っていないために腐ってしまう等の理由で多量の食品ロス（食糧損失）が発生している（図２）。

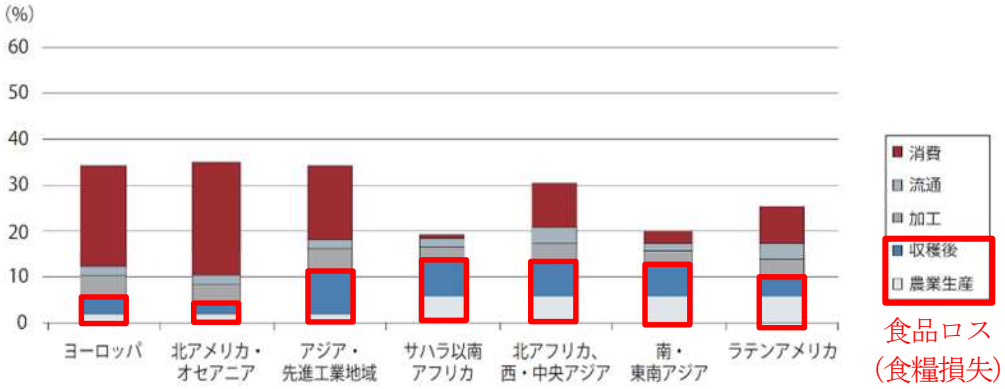

図２　地域別、フードサプライチェーンにおける食品ロス（穀物）

（出典：（公社）国際農林業協働協会「世界の食料ロスと食料廃棄」）

せっかくの作物が利益にならずに農業従事者の収入が低下すると、人手や機械が手に入りにくくなるために収穫が間に合わずに作物を腐らせてしまう等、更なる食品ロスを生み出す。これにより、更なる収入低下、農業従事者の貧困化といった負のスパイラルに陥ってしまう。さらに、開発途上国は、一般的にGDP[注釈8]に占める農業の割合が非常に高い[10)]ために、農業の生産性が向上しないといつまでも開発途上国から抜け出すことができないということになってしまう。

ここでは、開発途上国において食品ロスが引き起こしているこれら課題が先進国と

比較してより重篤であると考え、開発途上国の生産場面における食品ロス（食糧損失）削減を目指すこととした。

第２章　開発途上国が見据えるべき未来とその実現手段

２－１．食品ロス削減が切り拓く開発途上国の未来

コモディティ化[注釈9]してしまっている食糧の生産場面でのロスを削減し、生産効率を上げるためだけに大規模な投資を行うことは容易ではない。そこで筆者は、食品ロス削減によって生産効率を上げるだけではなく、生産される食品の高付加価値化も同時に達成することができれば、事業化に大きな推進力が生まれ、農業従事者の生活レベル向上、ひいては途上国自体のリステージがかなうのではないかと着想した。もちろん、開発途上国において生産場面での食品ロスが大幅に削減できれば、開発途上国の食糧問題も解決でき、世界的な食糧危機の回避にもつながることが期待できる。さらにこの提案は、食品ロスを削減することで地球を守り、開発途上国の貧困を撲滅し、開発途上国が繁栄を享受できるようになるという意味で、SDGs の理想を体現するものとも言える。

２－２．着目すべき食品種と地域

世界の食物カロリーに占める割合としては、穀物が他の食品群を圧倒し、全食品群の合計に対して約半分を占めることが報告されている[11)]。そのため、エネルギーの観点から食品の中で最もインパクトが大きい穀物のロスを削減することが重要と考えた。世界で生産されている穀物のうち、とうもろこし、小麦、コメの３種が穀物生産量の大部分を占める。とうもろこしについてはアメリカ、カナダ等、小麦についてもアメリカ、フランス等、先進国の生産割合が高い一方、コメについては開発途上国が多いアジアに世界全体の生産が集中している（表１）。すなわち、アジア開発途上国におけるコメの生産場面での食品ロスを削減し、生産するコメの高付加価値化も達成することができれば、世界の食糧危機の回避につながる規模の食品ロスの削減と、開発途上国のリステージを同時にかなえられることになる。そのため、アジア開発途上国におけるコメの生産場面での食品ロス削減に着目することとした。アジアでは、特に収穫後の食品ロスの割合が高いが（図２）、これは、アジアでは高温多湿であるため、乾燥、保存過程においてカビが発生し、黄変米（図３）が生じることの影響が大きい。

また、直播（じかまき）栽培[注釈10]であるために目的とするコメ以外の種子が混入することが多く、赤米（図３）が多量に含まれることになってしまっている。アジア開発途上国の一つであるミャンマーでは、黄変米、赤米を合わせた混入率は平均で20%を超えるという報告[12)]があり、多量に廃棄をしているのが現状である。

表１　国別穀物生産量 TOP10

	とうもろこし生産量 Top10		小麦生産量 Top10		米生産量 Top10	
順位	国名	生産量(1000t)	国名	生産量(1000t)	国名	生産量(1000t)
1	アメリカ	384778	中国	133596	中国	209614
2	中国	231837	インド	103596	インド	177645
3	ブラジル	64143	ロシア	74453	インドネシア	54604
4	アルゼンチン	39793	アメリカ	52258	バングラデシュ	54586
5	メキシコ	28251	フランス	40605	ベトナム	43449
6	ウクライナ	28075	カナダ	32348	タイ	28357
7	インド	26260	ウクライナ	28370	ミャンマー	26270
8	インドネシア	20370	パキスタン	24349	フィリピン	18815
9	ロシア	15310	ドイツ	23063	パキスタン	11115
10	カナダ	12131	アルゼンチン	19460	カンボジア	10886

（出典：FAO － FAOSTAT －より作成）

黄変米（カビ）

赤米（種子混入）

図３　黄変米と赤米

（出典：JAICAF「平成28年度アジアにおける貧困削減と持続的農業の推進のための技術指導事業（ミャンマー）」）

アジア開発途上国におけるコメの年間生産量は、約４億トン[注釈11]であり、収穫後のこれら変色米由来のロス量をコメ生産量の10%として見積もっても、約4,000万トンもの食品ロスが毎年生じていることになる。日本の年間食品ロス量が全体で約500万

トン／年であることを考えれば、アジア開発途上国におけるコメ生産場面での食品ロスがいかに大きなものであるかが分かる。

２－３．赤米による高付加価値化コメへの転換策

このようなアジアのコメ生産の現状を鑑み、筆者は「赤米」によって品質、機能を向上させたコメを起点とし、食品ロス（食糧損失）を削減するのと同時にアジア開発途上国をリステージすることを考案した。

赤米とは、イネの栽培品種のうち、玄米の種皮または果皮の少なくとも一方にタンニン系の赤色素を含む品種を指す[5)]。赤米は、普通品種に比べてアミロースやタンパク質が多く含まれるために粘りがない等「そのままではとても食べられない」と言われるほど味に難点がある[5)]。赤米は脱粒しやすく越冬性も強いため、いったん普通米の圃場（ほじょう）に混入すると、容易には取り除くことができない。普通米を栽培するにあたっては、赤米等の有色米が混入すると米の買取価格が下がってしまうため、アジア開発途上国のような直播栽培を採用する地域では歴史的に排除､排斥の対象となっている。

ではなぜこのような赤米を用いてコメの品質、機能向上につながるのか。その答えは、赤米が持つ色素にある。赤米がタンニン系の赤色素を持つことは既に述べたが、穀物であるモロコシにおいて、タンニンを含有する有色種は高い防虫、防カビ効果を示すことが報告されている[13)]。赤米は病害虫や気候の変化等の環境変化に強い[5)]と言われているが、タンニン系の赤米色素を含有することから、高い防カビ効果を発現すると考えてよいであろう。ここでは、この赤米の特性を生かして、普通米の保存時の課題を解決することを考えた。すなわち、高温多湿でカビが繁殖し、黄変米が生じやすいアジア開発途上国において、タンニン系の赤米色素を普通米にコーティングすることで防カビ性を付与し、普通米の保存安定性を向上させるというものである。そして、この赤米色素でコーティングされた普通米は、品質の保存安定性向上のみならず、健康増進にも寄与する高機能化米に生まれ変わる。赤米に含まれるタンニンは、抗腫瘍性を有する可能性も報告されており[14)]、さらに赤米色素成分のアントシアニジンは、脂質異常による生活習慣病の改善に高い効果が期待されている[15)]。

このように、これまで普通米の価値を下げるだけの存在であった赤米を有効活用することによって、普通米（コメ）の品質、機能性を大幅に向上させることが可能となる。

アジア開発途上国の GDP に大きな部分を占める農業において、この赤米色素でコーティングした高機能化米によって大規模な食品ロス（食糧損失）削減、高付加価値化による農業従事者の生活レベル向上を実現できれば、世界的な食糧危機の回避と、アジア開発途上国リステージが牽引する豊かな未来社会へとつながることが期待できる。

第３章　アジア開発途上国と共に油脂産業が実現する Sun-Rice Restage

３－１．油脂産業が可能にする赤米色素コーティング米

赤米色素でコーティングした高機能化米の実現には、赤米から効率的に赤米色素を抽出し、なおかつ抽出した赤米色素で普通米を均一にコーティングして品質、機能を向上させる必要がある。本提案では、赤米の色素の大部分は糠（ぬか）の部分に含まれることから、糠に約 20%含まれているコメ油と共に抽出して新規の油脂「赤米油」とする。さらにこの赤米油を用いて普通米をコーティングし、油脂としての効果も有効に活用することで普通米の高機能化を狙う。このように、油脂産業が上記課題解決のために大きな役割を果たせると考えているが、具体的には、品質や機能向上の観点から次のことが言える。

品質の観点では、食品の油脂コーティングは様々な食品で実用化されており、皮膜による外部環境からの保護効果等によって品質保持期間が約 1.5 倍になるといった実績が報告されている[16)] ことから、赤米油を用いて普通米にコーティングを行うことでも同様の効果が期待できる。タンニン系の赤米色素の防カビ効果と合わせて品質保持期間が 2 倍となれば、黄変米を 50%削減できる計算となる。先に述べたミャンマーの黄変米発生量が米生産量の 10%の年間 260 万トンとすると、その 50%の 130 万トンが食品ロスとはならずに済むのである。ミャンマーで飢餓に苦しむ人々は 620 万人にもなると推定されている[17)] が、ロスにならずに済んだ 130 万トンの米をこれら飢餓に苦しむ人々に届けることができれば、一人あたりに毎日 1,863kcal 分[注釈12]もの栄養を届けられることになり、食糧危機の回避に大きく貢献できる。

機能の観点では、赤米油はタンニンに加えて、γ - オリザノール、トコトリエノール等の健康増進に寄与する[18)] 通常米油特有の抗酸化物質も豊富に含む高機能化油となっている。赤米油を用いた普通米の油脂コーティング量は、普通米重量に対して 0.1%を想定しているが、ミャンマーにおける一人当たりの米の消費量は 570g／日[19)]

であるので、「赤米油コーティング米」を通じた赤米油の摂取量は0.57g／日となる。健康増進効果が期待される赤米のポリフェノール推奨摂取量は2.5mg／日以上と報告されている[20]が、本提案における赤米のポリフェノール摂取量を試算すると 3.0mg／日となるため（表２）、「赤米油コーティング米」を主食として日々摂取することで、十分な健康増進効果が期待できる。アジアの開発途上国では先進国と比較して平均寿命が短いが（表３）、日々摂取する高機能化米により、平均寿命を伸ばすことも期待できるであろう。

表２　本提案における赤米ポリフェノール摂取量

	本提案でのポリフェノール摂取量試算
ミャンマーにおける 1人当たりの米消費量	570 g/日
赤米油摂取量	0.57 g/日
赤米 ポリフェノール含有量：①	4.42 mg/g [34]
普通米 ポリフェノール含有量：②	0.65 mg/g [34]
普通米油 ポリフェノール含有量：③	0.767 mg/g [35]
赤米油 ポリフェノール含有量： ③×①／②	5.2 mg/g
本提案での 赤米ポリフェノール摂取量	3.0 mg/日

表３　アジア開発途上国の平均寿命

	米生産量Top10	
順位	国名	世界平均寿命順位
1	中国	48位
2	インド	117位
3	インドネシア	115位
4	バングラデシュ	82位
5	ベトナム	92位
6	タイ	47位
7	ミャンマー	125位
8	フィリピン	119位
9	パキスタン	143位
10	カンボジア	121位

（出典：　2022 年世界保健統計より作成）

このように、これまで普通米の価値を下げるだけの存在であった赤米を、油脂産業がアジア開発途上国と手を取り合って有効活用することによって、普通米（コメ）の品質、機能性を大幅に向上させた高機能化米、すなわち「赤米油コーティング米」の創製が可能となる。なお、「赤米油コーティング米」では、食品にとって重要である嗜好性も向上する可能性がある。粒立ちが良くてべたつきにくく、硬めのご飯に仕上げることを目的として、炊飯時に添加する業務用の米油が発売されている（図４）。

図４　炊飯用米油

（出典：JOYL PRO HP より）

アジアにおいては、べたつかず、硬めの食感が非常に好まれるため[21)]、今回の「赤米油コーティング米」では、アジアの人々に好まれる食味も提案できると考えている。

その一方で、それ自身の酸化が起こる油脂でコメをコーティングすることへの懸念も生じるであろう。油脂の品質劣化によって生じる代表的な課題は、酸化によって発生するニオイであるが、油脂で食物をコーティングして長期間保存されている素麺（そうめん）という実績も存在する。素麺は製造工程で、細く引き延ばす際に素麺に対して１％程の綿実油が練りこまれる[22)]。綿実油には、米油と同様にオレイン酸、リノール酸等の不飽和脂肪酸が多く含まれているが、素麺の賞味期限は密封性がない木箱中でも数年であるため、今回の「赤米油コーティング米」保存時の品質についても、担保できる可能性は十分にある。

３－２．Sun-Rice Restage 提案におけるコメ生産新サイクル

ここからは、「赤米油コーティング米」を創り出す Sun-Rice Restage サイクル

（図５）について、詳細を説明していく。このサイクルでは、「赤米油コーティング米」製造の際に生じる副生物も最大限に活用することで、提案する事業の強化、開発途上国、油脂産業の成長、発展にもつなげたいと考えている。

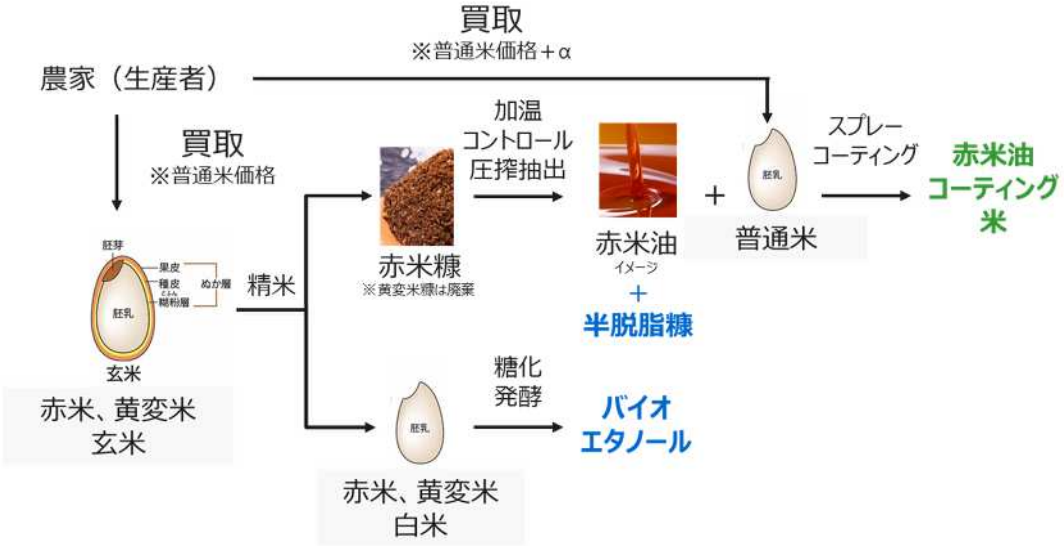

図５　Sun-Rice Restage におけるコメ生産新サイクル

今回の提案の舞台となるアジア開発途上国の精米所では、米の買取り、選別、精米が行われている。通常、黄変米、赤米が混入すると買取価格が低下するが、両方混入するケースでは買取価格が 15%～40%下がるという実態も報告されている（図６）。

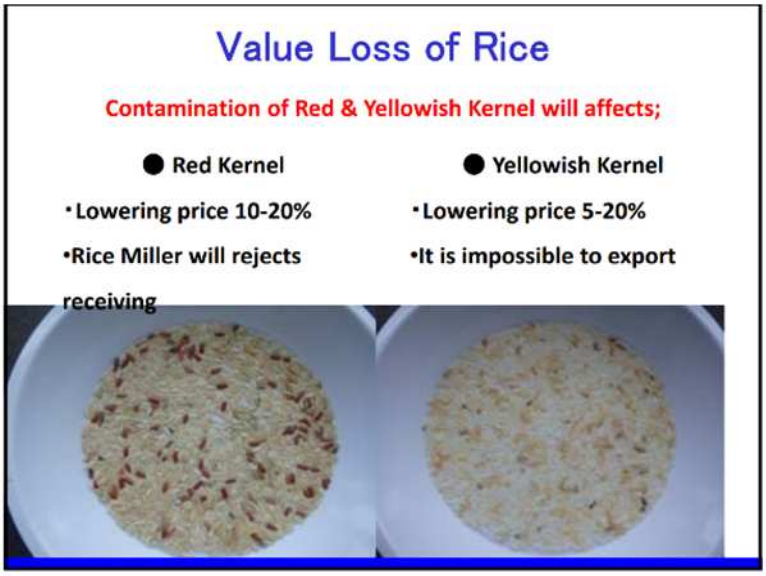

図６　黄変米、赤米混入による買取価格低下

（出典：JAICAF「平成 28 年度アジアにおける貧困削減と持続的農業の推進のための技術指導事業（ミャンマー）」より）

新サイクルでは、米農家の収入増大を狙い、赤米、黄変米を含む米を普通米の価格で買い取るため、米農家の収入は現状の 115%～140%へと大幅に上昇する。買い取ったコメは、白米の中に混じる着色粒・石等の異物を色彩選別できるカラーソーターを用いて識別、選別した後、精米を行う。開発途上国のミャンマーにおいても、中規模以上の精米所ではカラーソーターが導入されている精米所があり[12)]、変色米の識別、選別は比較的容易に実施可能である。精米して糠と白米とに分けた後、赤米から得られた糠を用いて、後述する圧搾法により赤米油を抽出し、普通白米にスプレーコーティングすることで、「赤米油コーティング米」を得る。現状、他国と比較すると米の輸出価格が低いアジア開発途上国である（表４）が、「赤米油コーティング米」は品質、機能、食味に優れるコメであるため、少なくとも他国並の輸出価格である現状の 1.5 倍程の価格まで上昇できると考えている。例えば、GDP の約 4 割を農業が占める[19)] ミャンマーにおいて、主要な農産物であるコメの価格が 1.5 倍になれば、GDP に与えるインパクトも非常に大きく、国としての成長、リステージにつながっていく。なお、この新サイクルにおいて副生する黄変白米、赤白米については、後述するバイオエタノール[注釈13]化を行うことで事業の収益化を図る。

表４　各国の米輸出価格

国名	米輸出価格（$/MT）
アメリカ	665-669
タイ	465
ベトナム	423-427
インド	338-342
パキスタン	373-377

（出典：　FAO より作成）

３－３．加温コントロール圧搾プロセスを用いた赤米油抽出

赤米油の製造は、加温コントロールを行った圧搾プロセスを考えている。通常、米油の製造には抽出効率の高い溶剤抽出法が用いられているが、タンニン系の赤米色素を効率よく赤米油に取り込ませるため、抽出効率が 50%程度である圧搾法を選択し

た。圧搾時に一定の温度範囲に加温をコントロールすることで、脂肪酸を生成させるリパーゼを失活させながら、かつ、有効成分を変質させず[23]にタンニン系の赤米色素やその他の有用な成分（図７）を豊富に含む高機能米油を製造することができる。

図７　圧搾米油（コメーユ）の栄養成分

（出典：三和油脂HP より）

赤米油製造時に副生する「半脱脂糠」についても有効活用ができる。脱脂糠は、脂が抜けた糠というネガティブな印象があるために、アジア開発途上国では家畜用の飼料としての受け入れ性は高くない。しかし、本副生物の「半脱脂糠」は、約半分の脂が残っており、なおかつ、加工段階で加熱されることでリパーゼが失活しているため、脂質が酸化されにくく保存安定性の大きな向上が見込める。高温多湿で輸送効率が優れないアジア開発途上国においても、高機能の家畜用飼料としての活用が大いに期待できる。この「半脱脂糠」については、販売して収益化するというよりは、地域の畜産業に無償で提供し社会をより豊かにするために活用する。具体的には、米を精米所に運びこんで空となったトラックにそのまま「半脱脂糠」を積み込み、その周辺地域の養鶏場等へ無償配布する。ミャンマーでは、チルド食品を好まない国民性からそれぞれの地域で鶏が育てられ、地域の市場に新鮮な鶏がならんで地産地消されているという[24]。そのために養鶏場は多くの地域に点在しており、各々の精米所から「半脱脂糠」を運搬して活用することで、家畜の高品質化と高栄養化につながり、食肉の輸出産業の発展も期待できる。

３－４．黄変米、赤米のバイオエタノール化

日本においては、コメからバイオエタノールを生産しても事業として成り立たせることは極めて困難である。それは、日本における米生産コストが高いからであり、生産コストを1／10以下にしない限りは事業収支が成り立たないと報告されている[25)]。一方、アジア開発途上国ではコメの価格は安価で、ミャンマーにおいては、日本のコメの価格の約1／15であり、廃棄される黄変米を流通している普通米の価格で買い取ってバイオエタノール化したとしても、十分に事業として成り立つと考えられる。ただし、バイオエタノールに関しては、あくまでもガソリン代替として使用されることが前提となるため、国としての推進が必須となる。アジア開発途上国においても、フィリピン、マレーシア等多くの国がバイオ燃料[注釈14]化を推進している[26)]。このように、バイオエタノールをガソリンに混合して使用する流れはできてきており、実現の可能性は高いと考えられる。また、日本では、コメ由来のバイオエタノールがさまざまな有効成分を含み、化粧品用途に有用であるという報告もなされている[27)]。赤米由来のバイオエタノールは、これら有効成分に加えて、肌の収斂作用を持つタンニン等の物質が含まれているため、将来的には高付加価値化粧品等にも応用できる見込みがあると考えられる。

３－５．アジア開発途上国、世界と共に成長する油脂産業であるために

ここまで、赤米油という新規の油脂開発と、その赤米油の有効活用を起点とする、アジア開発途上国と油脂産業が手を取り合う「Sun-Rice Restage」について述べてきた。これまでのところ、アジア開発途上国における米油製造実施率は極めて低い（表５）が、これは、含油量が少ない米糠を原材料とする米油事業において、売上が米油のみであれば事業が成り立たず、抽出後に残る脱脂糠を「副産物」「米糠加工品」として確実に販売しなければならない[28)]ハードルが高いからであった。本提案では、廃棄米を有効活用し、バイオエタノールの併産も行うことで高い収益性を確保でき、アジア開発途上国において、広く米油開発を進めていける可能性が高い。特に赤米油という新規高機能油脂を大規模に開発していくことで、油脂産業も大きく成長していくと考えられる。

表５　主要米生産国の米油生産可能量と生産量

（千トン、%）

	米生産量（籾ベース）	米糠発生量（注1）	米油		
			生産可能量（注2）	生産量	実施率
中国	203,612	16,289	2,443	105	4.3%
インド	159,200	12,736	1,910	780	40.8%
インドネシア	71,280	5,702	855	0	-
バングラデシュ	51,534	4,123	618	3	0.4%
ベトナム	44,040	3,523	528	11	2.0%
タイ	36,762	2,941	441	45	10.2%
ミャンマー	26,372	2,110	316	29	9.1%
フィリピン	18,439	1,475	221	NA	-
ブラジル	11,783	943	141	15	10.8%
日本	10,758	861	129	64	49.8%
世界計	739,120	59,130	8,869	1,083	12.2%

出所：FAO より JICA 調査団作成

注 1：籾米 100 に対する米糠 8 として計算。

注 2：籾米 100 に対する米糠 1.2 として計算

（出典：　JICA「ベトナム国米油及び脱脂糠の製造並びに用途開発にかかる案件化調査業務完了報告書」より作成）

一方、今回着目した赤米油には、先進国における応用展開の可能性も考えられる。日本のような先進国では、コロナ禍の影響もあり、今後も中食が伸長すると見込まれている[29)]。中食とは、総菜やコンビニ弁当等の調理済み食品を自宅で食べることであるが、最近では、あらゆる外食産業でテイクアウトが一般化し、Uber Eats 等のデリバリー産業の隆盛によって、今後もさらに中食が拡大していくであろう。

例えば、中食の代表であるコンビニのおにぎりには、ごはんが固くなることを防ぎ風味をよくするといった目的でサラダ油等が使用されている。このサラダ油の代替として赤米油を使用することで、赤米油の高い抗酸化性によって品質保持期間の延長による食品ロスの削減が期待できる。更には、赤米油中の有効成分による健康増進効果付与といった高付加価値化も期待できる。先進国でも赤米油の使用が拡大された場合、アジア開発途上国の普通米に混入する全ての赤米から赤米油を抽出しても供給が不足する可能性が出てくるが、アジアで広く伝統的に栽培されている赤米以外の古代米[注釈15]についても、新たな米油開発の対象とすることが可能であろう。例えば、黒米はアントシアニン等の有効成分を含むこと[30)]が確認されており、黒米油として開発することで油脂産業としての更なる発展も期待できる。

３－６．Sun-Rice Restage サイクルの実行可能性の検証

Sun-Rice Restage サイクルの要となるのは、①赤米油製造、赤米油による普通米コーティング、②黄変米、赤米からのバイオエタノール製造である。投資最小化のため、既存精米所の設備を最大限活用する前提で検討を行った。一例として、ミャンマーの一般的な精米所（精米量 40 トン／日）[12] をモデルケースとして試算する。

① 赤米油製造、赤米油による普通米コーティングについて

赤米の発生率を 10%とした場合、赤米量として 4 トン／日、赤米精米後の糠の発生量は 400kg／日となり、圧搾法で抽出、精製される赤米油は 40kg／日となる。加温圧搾機、油精製機を含む赤米油製造設備費用に関しては、本ケースと同規模で圧搾による菜種・ひまわり油製造を実用化している兵庫県洲本市の試算値[31] を採用した。この赤米油を用いた普通米の油脂コーティング量は、普通米重量に対して 0.1%とし、精米所で一日に精米する普通米（精米量 32 トン／日）全てをコーティングすることを想定した。なお、油脂コーティングは、レーズン等の食品分野で実績があるスプレーコーティングによって実施する。本提案では圧搾法を採用しているため、溶剤抽出法と比較して設備投資額を少額に抑えることができる。「赤米油コーティング米」の販売価格に関しては、自国消費を前提とし、国内の新米価格と比較して 1.5 倍である古米価格と同等にできるとして試算を行うと、収入は、年間 250 日稼働として約 2.4 億円／年、機械導入費用／経費／減価償却等のかかる費用を差し引くと、単年で 5,500 万円の利益を確保できるという結果が得られた（表６）。なお、光熱、人件費については、後述する規模の大きいバイオエタノール化にかかる費用と同一として試算を行った。

表６　赤米油製造、赤米油による普通米コーティング事業収支

	本提案での試算
赤米糠使用量	100 t/年
精製赤米油生産量	10 t/年
生産設備費	3000万円 圧搾、精製機、2310万円 油スプレイヤー機 200万円[36)] その他 490万円
普通米使用量	8000 t/年
赤米油コーティング量	0.1% /普通米重量
普通米仕入れ価格	20円 /kg
赤米油コーティング米 販売価格	30円 /kg
収入	2.4億円
経費	1.82億円 原料（普通米）：1.6億円 光熱：600万円 人件費：144万円 その他：1500万円
減価償却（10年）	300万円
単年収益	＋5500万円

② 黄変米、赤米からのバイオエタノール製造について

黄変米、赤米の発生率を計 20%とすると、8 トン／日が処理量となるが、各々精米後は糠が取り除かれて 7.2 トン／日となり、アルコールへの変換効率を 50%[25)] とすると、バイオエタノールとしての生産量は 3.6 トン／日となる。前述した通り、黄変米、赤米については流通している普通米の価格で買い取ることとする。バイオエタノールとして、ミャンマーのガソリン価格（135 円／L）[32)] と同じ価格で販売できるとし、新潟における米エタノール化事業収支計算[25)] と同様の試算を行うと、収入は、年間 250 日稼働として 10,872 万円／年、機械導入費用／経費／減価償却等にかかる費用を差し引くと、単年で 3,502 万円の利益を確保できるという結果が得られた（表７）。なお、人件費については、ミャンマーでは日本と比較して極めて給与水準が低い[33)] が、仮に新潟における人件費の 1／10 として試算を行った。

本試算においては、黄変米、赤米の買取価格を普通米と同等にしたとしてもバイオ

エタノール化事業のみで収支を黒字化できる。自国消費を前提とした際の「赤米油コーティング米」の販売価格は見通せない部分はあるが、栄養、食味等の付加価値が認められ、販売価格が想定の古米価格より高くなる場合には、米の生産者への買取価格アップという形で還元し、農業従事者の生活レベルの更なる向上に貢献したい。

表７　黄変、赤色米バイオエタノール化事業収支

	日本コメバイオエタノール化試算例[25]	本提案での試算
玄米使用量	15000 t/年	1800 t/年
エタノール生産量	6700 kL/年	804 kL/年
生産設備費	43 億円	5.2 億円
玄米価格	300円/kg	20円/kg
エタノール販売価格	119円/L	135円/L
収入	7.99億円	10872万円
経費	7.45億円 原料（玄米）：4.5億円 光熱：0.5億円 人件費：1.2億円 その他：1.25億円	2170万円 原料（玄米）：360万円 光熱：600万円 人件費：144万円 その他：1500万円
減価償却（10年）	4.3億円	5200万円
単年収益	-3.76億円	＋3502万円

おわりに

本論文では、食品ロス（食糧損失）削減を切り口として、アジア開発途上国と油脂産業が共に成長し、発展していくことを目標に掲げ、品質、機能、食味に優れる「赤米油コーティング米」を起点とする Sun-Rice Restage を提案した。今回はミャンマーの一般的な規模の精米所を例に試算を行ったが、事業の収益性の高さ、設備負担のコンパクトさから、その他アジア開発途上国へも広く展開できる提案であると考えている。仮にこれら地域の半分（コメ生産量約 2 億トン）に展開することができれば、黄変米が 50%削減できるとして、日本における年間食品ロス量の約 2 倍である約 1,000 万トン／年の食品ロス削減が達成され食糧危機の回避につながるのみならず、生産されるコメの高機能化により、アジア開発途上国全体の生活レベル向上、発展にもつながる。

さらに、今回提案した Sun-Rice Restage サイクルは、対象はコメだけにとどまら

ない。世界には、食糧の高機能化に結び付く成分を含むコメ以外の穀物も多く存在する。例えば、乾燥に強く、米や小麦等が育たないアフリカ等の地域で栽培されているモロコシは、種皮（ふすま）にタンニン等のさまざまな抗酸化物質を含むことが知られている[37)]。ふすまには油脂も含有しているため、モロコシを精白した際に生じるふすまから、今回の赤米油のような方法で高機能モロコシ油を得ることも可能である。ほぼ全ての国が開発途上国であるアフリカ地域でも、脆弱な生産、食品保管体制の下、多量の食品ロス（食糧損失）を発生させている（図２）ため、高機能モロコシ油で食糧をコーティングする価値は極めて高い。アフリカはアジア開発途上国と比較してもさらに経済的に厳しく、開発を行うハードルは高いと想像されるが、ハンディスプレーによるコーティング等、実施のハードルを大きく下げる検討も併せて行うことで、世界全体の食糧危機の回避、開発途上国のリステージを目指すことができる。そしてこの時、油脂産業も、世界各所での新規高機能油脂の開発、活用によって大きく発展していくことであろう。

SDGs が掲げる「地球上の誰一人として取り残さない」という誓いは、世界の貧困層を見捨てない、というだけの意味を示すものではなく、世界の、社会のあらゆる層が問題の解決に参加し、地球の未来に貢献することを求めるものでもある[38)]。開発途上国で廃棄される食糧に油脂産業が関わることで「発起点（ほっきてん）」となり、開発途上国の人々自身が食糧危機を打開し、生活・健康レベルの向上や産業の発展といった地球の未来に貢献していく様子は、「持続可能な開発」を将に体現するものであると言えよう。日本においては赤飯の起源とも言われ、神事にも用いられた古代米である赤米を起点として、開発途上国を中心とするリステージが巻き起こり、地球全体が明るい未来に包まれていくことを切に願っている。

＜注釈＞

注釈１）開発途上国：経済発展や工業力等の水準が先進国に比べて低く、経済成長の途上にある国。東南アジア、南アジア、中東、アフリカ、ラテンアメリカ等の国々に多い

注釈２）FAO：国際連合食糧農業機関。国連システムの中にあって食料の安全保障と栄養、作物や家畜、漁業と水産養殖を含む農業、農村開発を進める先導機関

注釈３）SDGs：Sustainable Development Goals。2015 年 9 月の国連サミットで加盟国の全会一致で採択された「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」に記載された、2030 年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標。17 のゴール・169 のターゲットから構成され、地球上の「誰一人取り残さない（leave no one behind）」ことを誓っている

注釈４）抗酸化物質：抗酸化剤とも呼ばれ、生体内、食品、日用品、工業原料において酸素が関与する有害な反応を減弱もしくは除去する物質の総称

注釈５）単収：単位面積あたりの作物の収穫高

注釈６）フードサプライチェーン：食料が農地で栽培・収穫されてから運ばれ、製造・加工、卸、流通、小売を通って消費者までたどりつく一連の流れ

注釈７）AI：人工知能またはアーティフィシャル・インテリジェンス。言語の理解や推論、問題解決等の知的行動を人間に代わってコンピューターに行わせる技術

注釈８）GDP：国内総生産。一定期間内に国内で産み出された物やサービスの付加価値の合計

注釈９）コモディティ化：従来は特別な価値をもっていた商品やサービスが、何らかの理由で日用品化すること。機能・品質・ブランド等による差別化が困難となる

注釈１０）直播栽培：種を直接畑や水田へ播く栽培方法。米の栽培では育苗管理が必要なくなるため労力軽減となるが、発芽率が低い、倒伏が起こりやすい等の課題がある

注釈１１）表１の国別の米の生産量について、中国とタイを除いた国分を合計して算出した

注釈１２）米のカロリーを 356kcal／100g とし、130 万トンの米をミャンマーで飢餓に苦しむ 620 万人に届けた際、一人 1 日あたりに供給できるカロリーとして算出した

注釈１３）バイオエタノール：植物が作りだす糖、でんぷん、セルロース等を原料として製造されたエタノール

注釈１４）バイオ燃料：石油代替燃料のうち、植物等の生物から作った燃料の総称

注釈１５）古代米：古代の野生種の形質を残した品種であり、黒米、赤米、緑米、東南アジアを中心に今でも食される香米等がある

＜参考文献＞

１）食品ロス及びリサイクルをめぐる情勢 161227_4-18.pdf (maff.go.jp)

２）食品ロスの現状を知る https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2010/spe1_01.html

３）The Social Issues HP より
https://the-social-issues.com/sdgs/

４）千葉商科大学 HP より
SDGs 達成のため、「食品ロス」を減らそう、なくそう ｜MIRAI Times｜ SDGs を伝える記事が満載｜千葉商科大学 (cuc.ac.jp)

５）猪谷富雄, 『赤米・紫黒米・香り米 ： 「古代米」の品種・栽培・加工・利用』, 農山漁村文化協会, 2000 年

６）国際連合広報センターHP より
https://www.unic.or.jp/news_press/info/33789/

７）外務省 HP より
https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/wakaru/topics/vol158/index.html

８）コトバンク HP より３分の１ルールとは - コトバンク (kotobank.jp)

９）現代ビジネス HP より https://gendai.ismedia.jp/articles/-/94162

１０）平成 27 年度途上国農業政策状況調査報告
https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokkyo/nousui_bunya/attach/pdf/index-4.pdf

１１）Wikipedia 穀物より穀物 - Wikipedia

１２）ミャンマー国籾殻熱源を使用した米収穫後処理の品質改善技術普及のための案件化調査 12245213.pdf (jica.go.jp)
１３）Esele J., "The genetics of grain mold resistance in sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) ", "Texas A & M University", p.152, 1991.
１４）King-Thom Chung, et al., "Tannins and human health: A review", "Critical Reviews in Food Science and Nutrition", 38(6), 421–464.
１５）オリザ油化 HP より
https://www.e-expo.net/materials/012405/0032/index.html
１６）日油 HP より https://www.nof.co.jp/business/food/coating/effect/index.html
１７）WFP HP より
ミャンマーの飢餓が深刻化:資金不足で阻まれる国連 WFP の人道支援 | World Food Programme
１８）三和油脂 HP より https://sanwa-yushi.co.jp/riceoil/
１９）クボタ HP より
https://www.kubota.co.jp/kubotatanbo/world/myanmar/about.html
２０）オリザ油化 HP より
Red Rice Extract (oryza.co.jp)
２１）JAICAF 2015 年事業報告書添付資料
https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokkyo/nousui_bunya/pdf/1_2_5_asia.pdf
２２）伝統食品のそうめんに食用油 https://www.oil.or.jp/info/70/page04.html
２３）脱脂糠粉末の製造方法および脱脂糠粉末　特許出願番号 2001-384435
２４）畜産の情報　2018 年 10 月号
https://lin.alic.go.jp/alic/month/domefore/2018/oct/wrepo02.htm
２５）米を原料としたバイオエタノールの製造
https://www.sce-net.jp/enrgypdf/biorice.pdf
２６）東南アジア主要国のバイオ燃料について
https://eneken.ieej.or.jp/data/4800.pdf
２７）高研 HP より https://chemi-mart.com/suppliers/koken/products/444

２８）ベトナム国米油及び脱脂糠の製造並びに用途開発にかかる案件化調査業務完了報告書より
12301149.pdf (jica.go.jp)
２９）矢野経済研究所 HP より
https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2797
３０）鹿児島県工業技術センター研究報告より
https://www.kagoshima-it.go.jp/kit2021/pdf/kenkyu_report/k_report_2013_02.pdf
３１）兵庫県洲本市 HP より
食用油の製造工程 - 洲本市ホームページ (sumoto.lg.jp)
３２）アジア経済ニュースより https://www.nna.jp/news/show/2360606
３３）ミャンマーの平均年収について
ミャンマーの平均年収と最低賃金！所得平均は低いの？ - Career-World (キャリアワールド) (web-box.co.jp)
３４）有色素米の抗酸化能とポリフェノール含量の測定
https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk/58/12/58_12_576/_pdf/-char/ja
３５）築野食品 HP より
https://www.tsuno.jp/products/seasonalricebranoil
３６）Oil Spraying 装置
Automatic Single Roller Oil Sprayer Seasoning Machine - Buy Seasoning Machine,Oil Sprayer Seasoning Machine,Automatic Seasoning Machine Product on Alibaba.com
３７）神戸女子大学 HP より
モロコシ（Sorghum）； そのユニークな栄養と健康促進効果－１｜教員ブログ｜神戸女子大学 管理栄養士キャリア UP ネットワーク (kobe-wu.ac.jp)
３８）WWF ジャパン HP より
SDGs（持続可能な開発目標）とは？WWF の取り組みと、これからの環境保全｜WWF ジャパン

令和５年２月２１日

〒103-0027　東京都中央区日本橋三丁目 13 番 11 号
一般財団法人 油 脂 工 業 会 館
☎東京０３（３２７１）４３０７（代表）
https://www.yushikaikan.or.jp/