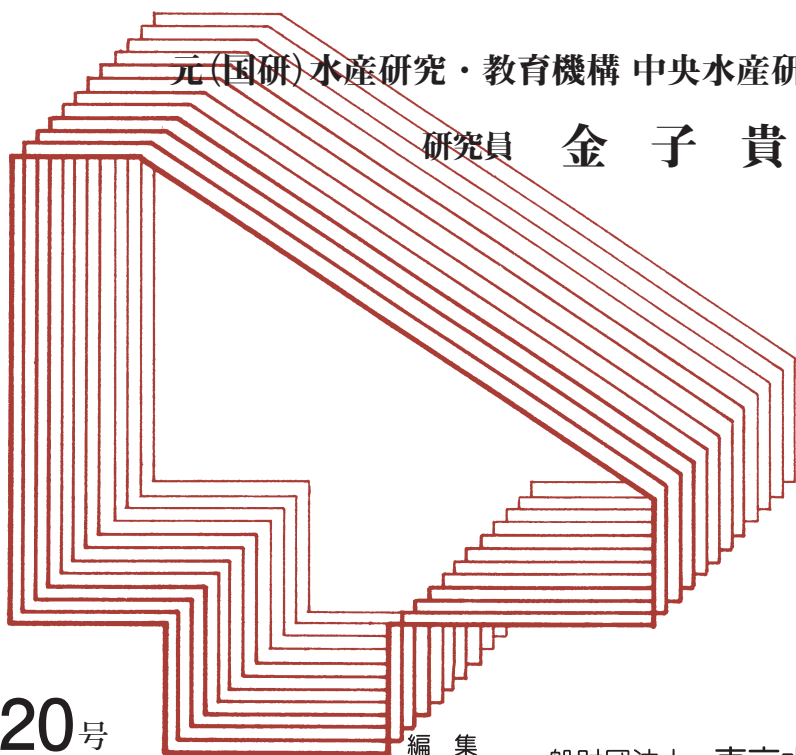


水産振興

ノルウェーにおける最先端養殖技術 —現在と将来—

元(国研)水産研究・教育機構 中央水産研究所

研究員 金子貴臣



第620号

(第54巻 第1号)

編集
発行

一般財団法人 東京水産振興会

「水産振興 ONLINE」の開設について

「水産振興」は1967年の第1号刊行以来52年間に渡り616号を刊行してまいりましたが、更により多くの皆様に親しんでいただくため、2019年9月よりこれまでの紙面に加えて「水産振興 ONLINE」としてパソコンやスマートフォン、タブレットでも閲覧できる電子版での提供を開始いたします。専用のソフトウェアを使用せずにも読むことができますので、これまでの紙面に加えてご活用いただければ幸いです。

なお、「水産振興 ONLINE」の開設に合わせて、皆様にご寄稿いただいた短編記事や連載記事などをWEB上だけで掲載する電子版専用記事の掲載も開始いたします。皆様からの積極的なご寄稿をお待ちしておりますので、これまでの「水産振興」と同様にご活用いただければ幸いです。

一般財団法人 東京水産振興会
会長 渥美 雅也



水産振興 ONLINE
URL:<http://lib.suisan-shinkou.or.jp/>



水産振興 ONLINE 開設のお知らせ

「水産振興」発刊の趣旨

日本漁業は、沿岸、沖合、そして遠洋の漁業といわれるが、われわれは、それぞれが調和のとれた振興があることを期待しておるので、その為には、それぞれの個別的な分析、乃至振興施策の必要性を、痛感するものである。坊間には、あまりにもそれぞれを代表する、いわゆる利益代表的な見解が横行しすぎる嫌いがあるのである。われわれは、わが国民経済のなかにおける日本漁業を、近代産業として、より発展振興させることが要請されていると信ずるものである。

ここに、われわれは、日本水産業の個別的な分析の徹底につとめるとともにその総合的視点からの研究、さらに、世界経済とともに発展振興する方策の樹立に一層精進を加えることを考えたものである。

この様な努力目標にむかってわれわれの調査研究事業を発足させた次第で冊子の生れた処以、またこれへの奉仕の、ささやかな表われである。

昭和42年7月

財団法人 東京水産振興会
(題字は井野碩哉元会長)

目次

ノルウェーにおける最先端養殖技術

—現在と将来—

第620号

はじめに.....	1
第1章 ノルウェーにおけるサーモン養殖産業の実情.....	4
第2章 現在普及している最先端養殖技術.....	10
—世界最大手 AKVA グループの調査から—	
第3章 将来確立される可能性がある最先端養殖技術.....	31
—開発ライセンス制度がもたらす異次元の技術開発—	
おわりに.....	46

かね こ たか おみ
金 子 貴 臣

【略歴】

▷ 1983年生まれ。東京大学農学部卒。同大学院農学生命科学研究科博士課程修了。農学博士。2010年より中央水産研究所水産経済部（現経営経済研究センター）任期付研究員。2013年より経営経済研究センター研究員。2019年4月より水産庁増殖推進部漁場資源課課長補佐（海洋開発）に転籍しスマート水産業の推進を担当。

ノルウェーにおける最先端養殖技術

— 現在と将来 —

元 (国研) 水産研究・教育機構 中央水産研究所

研究員 金子 貴臣

はじめに

拙著、水産振興 597 卷「ノルウェーのグローバル・インテグレーションの展開—ノルウェー資本の拡大—」を御覧いただければお分かりいただけると思うが、私はもともとノルウェーの“漁業”、特にまき網漁業の漁業とその管理、それを取り巻く産業構造等の分析を専門としており、ノルウェーの養殖産業についてはノータッチであった。同著は、ノルウェーにおけるアトランティックサーモン養殖産業のインテグレーションに全体の半分を費やしているが、そのパートは基本的に共著者が執筆したものである。そんな私が、ノルウェーの最先端養殖業の調査をし、本稿を執筆するに至ったのは、ある養殖の先端技術開発プロジェクトに関わることになったためである。

そのプロジェクトは機密性が高く、私は諸事情によりそのプロジェクトから途中で外れてしまったため、それがどうなったのか今となっては知る由もない。ただ、このプロジェクトの始まりは、養殖業の技術開発に初めて携わった私にとって不思議が多かった。短期間しか関わっていないので、誤解があるかもしれないが、私の理解している範囲では、このプロジェクトでは、他国の先端技術開発の動向をレビューして、その情報に基づいて開発方針を決めていくというプロセスは無かったと思う。国内の現場から持ち上がった課題（ニーズ）を解決するため、国内の研究機関や企業が先端技術を開発し適用していくというプロジェクトだったと理解している。それゆえ、途中からプロジェクトに関わった私は、「この技術は既に海外で存在しているのではないか」とか、「この技術は

本当に必要なもので海外でも開発しているのだろうか」といった疑問が浮かび、最後まで消えることは無かった。

私は、国内で先端技術を開発するのであれば、技術開発の方向性を確認していくための「道標」は必要だと考えている。特に、養殖業には、ノルウェーという先進国がある。我が国では未解決の問題も、同国では解決する技術が確立されており、既にビジネスとして展開している可能性もある。我が国で未解決という理由で、それを解決するために、数限られた研究者の時間と研究費を費やし、他国ビジネス展開されているかもしれない技術を開発することは、リソースの浪費にしかならないのではないか。研究開発の「重複」を避けるためには、やはり海外の技術開発動向に関するレビューをしておかなければならないのではないだろうか。

一方で、こういった技術は民間企業がビジネスとして開発していることが多く、論文を探してもなかなか情報が出てこない。私は、国内でノルウェーの養殖技術開発の動向に関する情報が少ないと感じていた。ノルウェーは何ができて、何ができなくて、何を技術開発しているのか。それを論文を読むだけで掴むことは難しいと感じていた。そこで、プロジェクトから外れた後も、当時所属していた(国研)水産研究・教育機構 中央水産研究所に費用を捻出してもらい、ノルウェーを調査したのである。

本稿は、私がこの調査をした際に得られた情報をまとめたものである。その情報の中には、ノルウェーで現地調査をする前後に、海外のニュースサイト等から情報収集した内容も含まれている。本稿は、そういった情報を学問として体系的にまとめたものではなく、調査した情報を国内に紹介する目的で執筆したものである。それ故、その内容については、筆者の主観的な意見に基づく内容や、裏取りが不十分な内容が含まれている可能性があることはご理解いただきたい。一方、ここで取り上げる情報については、国内でこれまで全く紹介されていないもの、あるいは断片的にのみ紹介されているものも多く、読者にとっては新鮮に感じていただけるのではないかと思う。筆者としては、本稿が、国

内で養殖技術の開発に携わる、あるいは養殖ビジネスに携わる人々が、自分が取り組んでいる研究やビジネスを見つめ直すきっかけになれば幸いである。

本稿は、大きく分けて3つのパートに分かれている。まず、第1章は、読者が以降の章の内容を理解しやすくするため、ノルウェーのサーモン養殖産業の概況を、データを用いて示した。第2章では、「現在確立されている最先端技術」を紹介するため、養殖機器の最大手メーカーである AKVA 社やそのユーザーである養殖業者を調査した内容について紹介した。第3章では、「将来確立される可能性がある最先端技術」を紹介するため、ノルウェーが取り組んでいる「開発ライセンス」に基づく最先端養殖技術の開発動向について紹介した。そして、中国における最先端技術の開発動向に関する情報を紹介しながら、ノルウェーと日本との養殖技術の開発の違いについて提起して締めくくりたい。

今回の調査は、多くの関係者にお世話になって実現したものである。現地調査に協力していただいた AKVA 社の Riska 氏、Karlsen 氏ら多くの関係者、AKVA 社とつないでいただいた日本代理店の東京産業株式会社磯尾氏らの営業グループ、ノルウェー漁業局で取材に応じてくれた漁業局の Anne Osland 氏、調査費用の捻出のため、ご尽力いただいた前野所長をはじめとする中央水産研究所の皆様、計画段階で中止になってしまったものの中国調査の準備にご協力いただいた海外漁業協力財団時村顧問、周永東氏に厚く御礼を申し上げます。また、開発ライセンスで開発されている最先端養殖技術のイメージについては、Salmar 社、MOWI 社、Cermaq グループ社から許諾をいただいて掲載している。この許諾を得る際にご協力いただいた、ノルウェー水産物審議会 Wie 日本代表と各社のご担当者様には、この場を借りて御礼申し上げます。

第1章 ノルウェーにおけるサーモン養殖産業の実情

まず、本章ではノルウェーの養殖産業について、いくつかの切り口からデータを示しながら、整理してみたい。この章を読むことで、後の章の理解の助けとなれば幸いである。

魚種

我が国でも、外食産業や小売店でもはや当たり前のように売られるようになった“ノルウェーサーモン”であるが、種として見るとそのほとんどがタイセイヨウサケ（英名:Atlantic Salmon, 種名:*Salmo salar*）である。同種は国内の流通において「アトラン」あるいは英名の「アトランティックサーモン」で呼ばれていることが多いので、本書では「アトランティックサーモン」と統一して呼ぶこととする。

ノルウェーにおける2017年の食用魚介類の養殖生産量は、約131万トンであるが、このうち99.5%以上がサケ科魚類で占められており、その中でもアトランティックサーモンが全体の94.5%（約124万トン）と圧倒的なシェアを占めている（図1-1）。したがって、ノルウェーの養殖産業≒サケ科魚類の養殖産業であり、もっと言えばノルウェーの養殖産業≒アトランティックサーモンの養殖産業と換言しても構わないだろう。

そして、ノルウェーの養殖産業の傾向として、現在でも国全体の養殖生産の中で、アトランティックサーモンが占める割合が高まっている点が挙げられるだろう。当初からアトランティックサーモンの生産が圧倒的だったわけではなく、古い1977年時点の生産量はニジマス（英名:Rainbow trout 種名:*Oncorhynchus mykiss*）の方が多かった。しかし、ノルウェーの養殖産業はその後目覚ましい成長を遂げるのだが、この成長がアトランティックサーモン養殖の成長であった。このような背景があるので、本稿はノルウェーの養殖産業に関わる技術開発動向という形で執筆しているものの、特に断りがなければ、基本的にそれはアト

ランティックサーモンの養殖を念頭に置いた技術開発を指す。もっとも、ノルウェーはアトランティックサーモンで開発した技術を他魚種に横展開しているため、必ずしもこれら最先端技術は「アトランティックサーモン」だけのものではない。

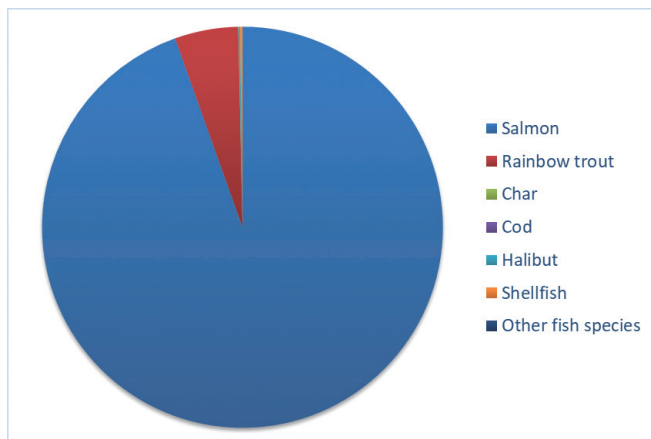


図1-1 ノルウェーにおける魚種別養殖生産量（2017）
Salmonがアトランティックサーモンを指す。（データ出典：Statistics Norway）

産業のトレンド

さて、ノルウェーの食用魚介類の養殖生産量は約131万トン（2017年）であると説明したが、我が国でも海面養殖業の生産量はおよそ100万トンなので、直近の生産量をスナップショットとして見てみると、“圧倒的”というほどの差は感じられないだろう。ただし、生産量のトレンドは全く異なる（図1-2）。ノルウェーの養殖産業は、日本の養殖業が既に90万トンを超える養殖生産量を記録していた1970年代中盤には影も形もなかった産業である。しかし、1980年代から毎年2桁を超える成長率で成長を続け、生産量が50万トンを超えた2000年代でも安定した成長を続けた。そして2011年にとうとう我が国の生産量を抜き去ったのである。我が国の養殖生産量が1990年代をピークに横ばい

になり、ここ 10 年徐々に落ち込みを見せているのに対し、ノルウェーは一貫して右肩上がりの傾向にあり、成長産業と呼ぶに相応しい軌跡を描いている。

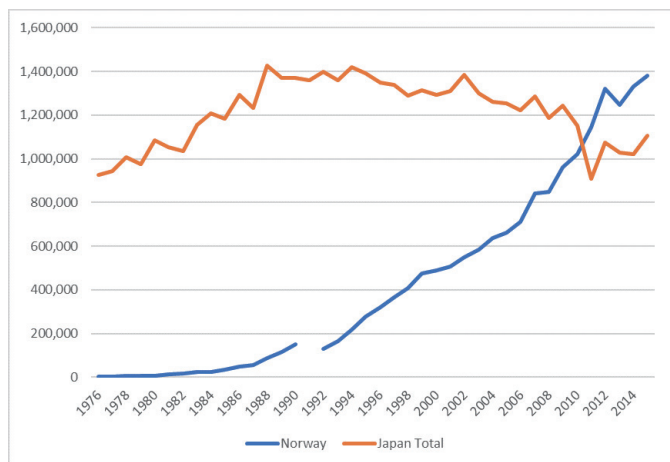


図1-2 ノルウェーと日本の海面養殖業の生産量の変化
 (ノルウェーのデータは 1991 年部分は欠損)
 (データ出典：Statistics Norway, 漁業・養殖業生産統計)

このノルウェーの養殖産業の成長はいかにして起きてきたのだろうか。ノルウェーでは養殖業はライセンス制度と呼ばれる制度で管理されており、現在のライセンス制度においては、1ライセンスにおいて最大限飼育できる養殖魚の生物量 (Maximum Allowable Biomass : MTB) が決められている。最大限飼育できる養殖魚の生物量が決められているのであれば、生産量の増加は、発行しているライセンス数の増加によるものとまず考えるのが自然だろう。確かに、ノルウェーにおけるライセンスの発行数は、ほぼ右肩上がりで伸びているので、ライセンス数の増加は要因の1つである。ただ、データを見る限りでは、生産量の伸びほど、ライセンス数は増加していない。むしろ、1ライセンスあたりの生産量が大幅に増加しているのである (図1-3)。Asche *et al.* (2013) では、この生産性が向上した原因について、ワクチンの開発による死亡率の減少、餌の改良、育種等を挙げている。つまり、技術開発の寄与が大きいとみられる。

1ライセンスで飼育できる生物量が決められているので、生産量を伸ばすには、飼育中の死亡（ロス）を減らす、短期間で飼育できるようにする、といった技術開発が必要となり、実際にそういった技術が開発され成長を支えてきたのである。2章は、そのような技術開発のうち、養殖生簀、ソフトウェア、給餌技術などの養殖機器などの現在の到達点として、AKVA 社の製品について紹介する。

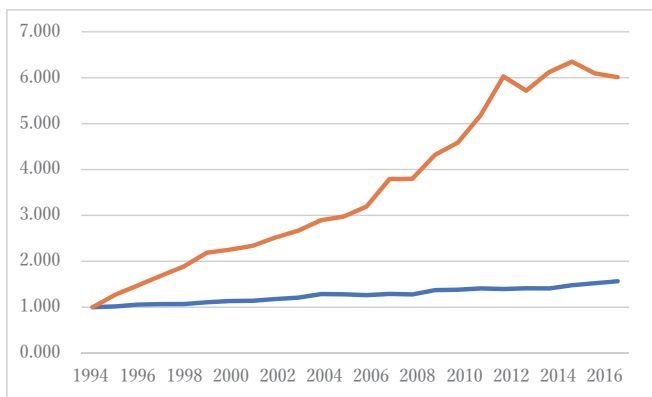


図1-3 1994年を1とした際の、ライセンス数のトレンド(青)とサケ類（ニジマスとアトランティックサーモン）の養殖生産量のトレンド(橙)。ノルウェーではライセンス数の伸びよりも、生産量の伸びの方が圧倒的に高い。(データ出典：Statistics Norway)

管理制度

ノルウェーの養殖業を管理するための最も重要な法律は2006年1月から発効した養殖法(Aquaculture Act)である。ノルウェーの養殖業はこの法律に基づいて、ライセンス制度により管理されている。各ライセンスには、最大許容生物量(MTB)が設定されており、それ以上の養殖魚を飼育することはできない。アトランティックサーモンやニジマスの場合、1ライセンスあたりに飼育できる生物量は通常780トンで、トロムス県やフィンマルク県などの北部地域になると945トンになる。こういった養殖ライセンスについては、1企業が全体のシェアに占める上限も決められており、2013年からは40%となっている(Asche *et*

al. 2013)

養殖法においては、養殖業を営むためのライセンスは、複数の条件を満たさないと発行されず、その中には、食料生産・食料安全等に関する法律 (Act of 19 December 2003 no. 124 relating to food production, food safety, etc.)、汚染への防護と廃棄物に関する法律 (Act of 13 March 1981 no. 6 relating to protection against pollution and relating to waste、通称 Pollution Control Act)、等々の法律を遵守するといった条件も含まれている。ノルウェーでは、養殖業のライセンスを得るためには、複数の政府機関から所管する規制に関するライセンス等を得ないといけない。このため、one-stop-shop という考え方で、ノルウェー漁業局が窓口として申請を受け付け、各関係政府機関や地方政府に申請を回して各機関の管轄する内容について審査を進めてもらう、という方法を採用している。例えば、汚染への防護と廃棄物に関する法律 (Pollution Control Act) については、審査機関は地方政府であり、この審査に通過すると、排水に関する許可を得ることができる。こういった各機関のライセンス・許可を全て揃えることができると、本当の意味で「ライセンス」として機能するようになる。

また、我が国の区画漁業権制度と異なるのは、あくまでも「場所」はライセンスを申し込む側の業者が「ここでやりたい」と申請する段階で決めるもので、最初から特定の区画が決められているわけではない、という点である。我々がこの調査でインタビューをした、Anne Osland 氏が言うには「養殖業者は常に養殖の好適地を探している」とのことであった。

資本

ノルウェーの養殖産業では、種々の規制緩和が行われた結果として、企業間の統合が進展し、寡占化が進行している。Asche *et al.* (2013) によれば、ノルウェーのアトランティックサーモン養殖業は 1991 年までは Ownership Regulation が導入されていたため、1業者で1つの養殖場しか所有すること

ができず、自営業者が大半を占めていた。しかし、1992年に Ownership Regulation が緩和されて複数の養殖場を所有できるようになると、ノルウェーの養殖業は統合が急速に進展した。「ノルウェーの養殖生産のうち80%を何社で生産できているのか、」という指標を見ると、1997年は70社で80%を生産していたが、2012年ではその数が20社にまで減少している。

その中でも、ノルウェーのトップ4社の存在感は大きく、世界的にも高いシェアを占めている。それがMOWI(旧マリンハーベスト)、Salmar社、Lerøy Seafood、グループ、Cermaq社、である(表1-1)。このうち、Cermaq社は2014年に、約1500億円で日本の(株)三菱商事が買収した企業である。これらの企業はグループ企業として、ノルウェー以外の国(チリやカナダ等)に生産拠点を有しており、グローバルにサーモンを供給する体制が整えられている。これら4大企業を語る上で重要な視点は、三菱商事が買収したCermaqを除いて、特定一族がその企業の多くの株式を握っているという点である。彼らは、数百億から数千億の個人資産を所有している。日本の水産業界にも、ファミリー企業は存在するものの、ノルウェーの“水産ファミリー”は、桁違いの資本力と影響力を有している。

表1-1 各国におけるサケ科魚類の企業別生産量。サケ養殖は特定の企業グループが、世界各国にまたがって生産を行っている。(データ出典: Mowi社 Salmon Farming Industry Handbook 2019)

順位	ノルウェー		英国		北米		チリ	
1	Mowi	230,400	Mowi	38,400	Cooke Aquaculture	60,800	New Aquachile (Agrosuper)	109,000
2	Salmar	142,500	The Scottish Salmon Co.	29,900	Mowi	39,300	Mitsubishi/Cermaq	66,000
3	Lerøy Seafood	137,800	Scottish Seafarms	27,500	Mitsubishi/Cermaq	21,800	Salmones Multiexport	64,800
4	Mitsubishi / Cermaq	57,400	Cooke Aquaculture	21,600	Grieg Seafood	16,600	Mowi	53,200
5	Grieg Seafood	46,100	Grieg Seafood	11,900	以下略		Blumar	47,600
6	Nova Sea	37,900	以下略				Camanchaca	43,600
7	Nordlaks	36,100					Australis Seafood	34,500
8	Norway Royal Salmon	36,000					Ventisqueros	30,300
9	Sinkaberg-Hansen	27,500					Invermar	20,000
10	Alsaker Fjordbruk	26,000					Marine Farm	19,800
	以下略						以下略	
	トップ10計	777,700	トップ5計	129,300	トップ5計	138,500	トップ10計	449,000
	その他計	350,400	その他計	8,900	その他計	10,200	その他計	160,700
	全計	1,128,100	全計	138,200	全計	148,700	全計	609,700

第2章 現在普及している最先端養殖技術 —世界最大手 AKVA グループの調査から—

ノルウェーの養殖業では何ができていて、何ができていないのか。それを知りたかった私は、世界最大手の養殖機器メーカーである AKVA グループの代理店をしている東京産業株式会社に協力をお願いした。タイミングよく、AKVA グループから Riska, Karlsen 両氏が来日するというので、引き合わせていただき、同社を調査する機会をいただいた。ここでは、同社や同社で販売されている養殖機器、同社の機器を使用しているユーザーとのインタビューなどから得られた情報をもとに、これまでにノルウェー養殖業の成長産業化を支えてきた技術は現在、どのような点に到達しているのかについて紹介していきたい。

AKVA グループとは

AKVA グループ

AKVA グループは、国内の水産関係者にとっては、ほとんど馴染みがないかもしれないが、養殖機器の総合サプライヤーにして、世界のトッププレイヤーである。AKVA グループは、養殖に関わる商品のうち、「稚魚」「餌料」以外の全てを自社で開発し、世界各国で販売している。日本にも養殖機器の開発・製造を行う企業は多数あると思うが、それぞれの企業が開発しているのは「生簀網」「給餌機」のように自社の得意な分野に特化している、というのが私の理解である。また、日本の企業にも、様々な養殖機器を広く販売している企業はあるかもしれないが、全ての機器を自前で開発しているわけではない。AKVA グループの製品ラインナップの特徴は、自社の販売する養殖機器の大半が自社開発製品という点にあり、それが後述する適切なメンテナンス・迅速なサポート体制という強みに繋がっている点である。

また、AKVA グループは、自社内にソフトウェア部門を抱えており、養殖生簀や給餌システム、作業用ボートのようなハードウェアだけではなく、養殖魚の管理や養殖施設を管理するためのソフトウェアを開発し、販売を行っている。我が国でも、この手の養殖業の生産管理のためのソフトウェア開発については、ベンチャー・大手問わず参入が相次いでいるが、私の理解している限りでは、開発しているものはソフトウェアのみ、あるいはソフトウェア+ α （自動給餌装置やセンサー類等）のみではないだろうか。

これから養殖業を始めたいという資本家からすれば、AKVA の製品ラインナップの充実ぶりはとても魅力的に映るだろう。顧客は AKVA 1社に頼みさえすれば、養殖に必要な機器がハードウェア・ソフトウェア全て揃えてくれ、保守契約を結んで、メンテナンスやサポートも手厚く行ってくれる。また、顧客には、同社の機器を扱うため従業員の教育も行ってくれるので、ほとんどのことを AKVA に任せられるのである。餌料や稚魚については、AKVA は供給しないものの、彼らと関係の深いサプライヤーは存在するので、そのサプライヤーの紹介を受けることができる。

AKVA グループは、そういった養殖機器の総合サプライヤーとしての強みを活かして、ノルウェー国内のみならず、海外に広く展開を進めている。AKVA グループの進出先は、チリやカナダはもちろんのこと、ロシア、インド、イラン、東アフリカ諸国といった、おおよそ養殖のイメージが無い国も含まれている。彼らの養殖システムで飼育されている魚はアトランティックサーモンを初めとしたサケ類にとどまらず、ティラピアやシーバス等々、実に多様である（図2-1）。その中には、ブリ類も含まれているということなので、魚種が障壁となって、日本での展開が難しいというわけではない。

AKVA グループが、海外市場を広く開拓できているのは、自社で必要なものをほとんど供給できる体制ができているからと筆者は考えている。顧客は AKVA グループに要望さえ伝えれば、現地調査を実施し、顧客の要望を確認しつつ、蓄積されたノウハウや緻密な分析結果をもとに、顧客が指定したサイ

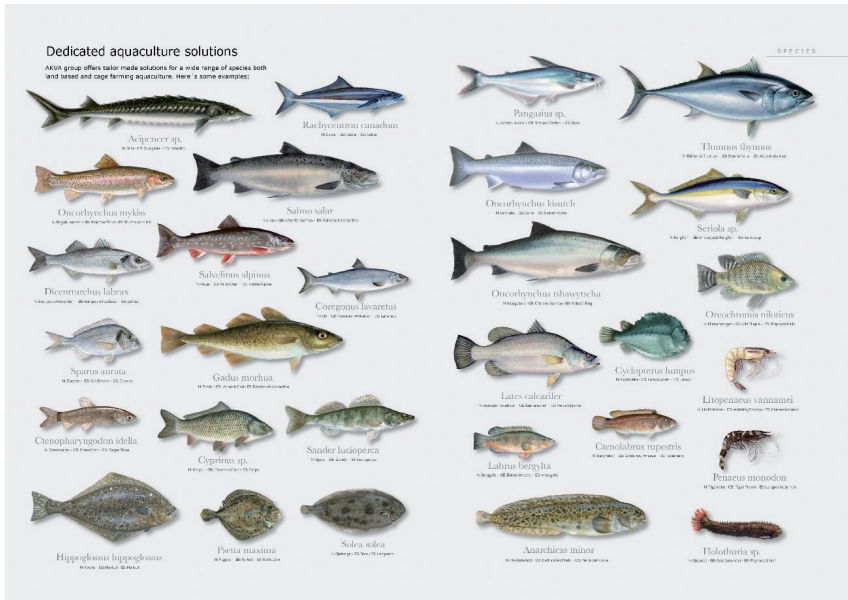


図2-1 AKVAグループが対象としている魚種。マグロからエビまで扱っている。
 (Credit: AKVA Group ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

トに適した養殖ゲージや、必要な機材を選定し、パッケージにして提供する。つまり、顧客は養殖に関してあまり知識を持っていなくても、必要なものは全てAKVAグループが揃えてくれるのである。さらに、従業員教育もしてくれるし、サポートも行ってくれる。彼らは、顧客のニーズに合わせてテーラーメイドで養殖環境を整備し、かつ教育もサポートも提供してくれるので、今まで養殖業が発展していなかった地域でも、養殖ビジネスが芽吹くのである。

ノルウェーにおける養殖機材のサプライヤーたち

AKVAグループの創立は1975年。本社はノルウェーの港町スタヴァンゲルに近いヴリンという小さな町にある。本社はヴリンだが、ノルウェー全土に支社やサポートセンターを構える。また、カナダ、米国、スコットランドといったサー

モン養殖が盛んな地域のみならず、地中海沿岸や中東にも支社を構えている(図2-2)。それ以外の地域では、現地で代理店を結んだ企業が彼らの機材を供給している。日本では、(株)東京産業という商社が代理店契約を結んでいる。本著のための調査は、同社の協力があって実現したものである。

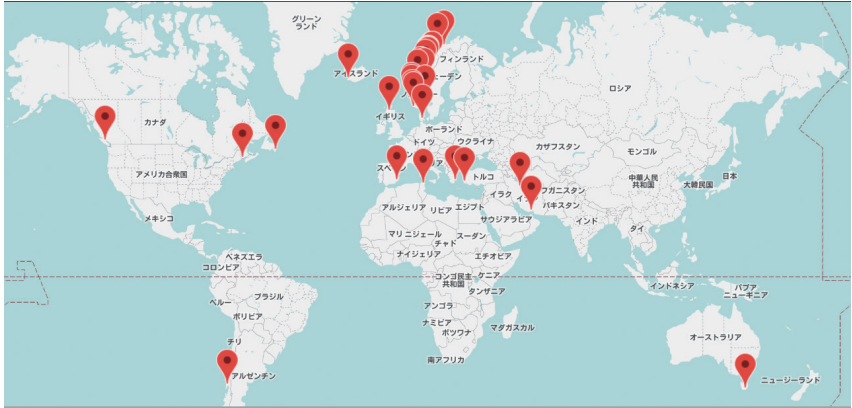


図2-2 AKVA 社の展開する地域 (同社 HP より抜粋)

AKVA 社はノルウェーで最も大きな養殖機器のサプライヤーであるが、独占的な企業ではない。ノルウェーには、他にも、有力な企業が存在する。その一つが、STEINSVIK グループ社である。同社は、投資会社 KVERVA 社の傘下企業であるが、サーモン養殖大手の一角である Salmar 社と実質的に同じ資本グループに属している。同社は AKVA 社同様に、世界中に拠点を持つ養殖機器サプライヤーである。それ以外にも、ノルウェー国内を中心に展開する VARD AQUA (旧 STORVIK AQUA) 社や AQUALINE 社などがあり、複数の民間企業が、日夜、技術開発に鑄を削っている。

AKVA 社の養殖機器

総合サプライヤーが供給する商品群

AKVA 社を「養殖機器の総合サプライヤー」と形容したが、彼らが供給している養殖機器とは一体どのようなものか。彼らは、それをわかりやすくコンセプトイメージで紹介している (図2-3)。このイメージを見れば、彼らの扱う機器というのが、いかに広範なものをさすかお分かりいただけるだろう。彼らが提供しているのは、養殖にとって必要なケージフレームやネットのみならず、サーモンに餌を与えるための自動給餌システム、ゲージの環境を計測するためのセンサー類、サケ類の成熟等をコントロールするライト類、イケス内の状況を把握するために必要なカメラ類、ゲージに行くための作業ボート、サイロを備え給餌の起点となるフィーディングバルジ (はしけ船)、これらの設備をコントロールしたり、魚の成長を管理したりするためのソフト群などである。AKVA 社は、各機器を、投入するゲージの大きさや環境別に複数種用意しており、顧客の養殖



図2-3 AKVA 社が提供する海面養殖設備一式のコンセプトイメージ。これに加えて、センサー類や各種ソフトウェアなどの販売も行っている。(Credit: AKVA Group ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

環境や要望に基づいて適切な組み合わせで提供する。

これはあくまでも海面養殖に限った製品群であり、これ以外にも、「陸上養殖」のための機器も提供している (図2-4)。つまり、同社は海面養殖・陸上養殖双方をカバーする文字通りの「総合」サプライヤーなのである。

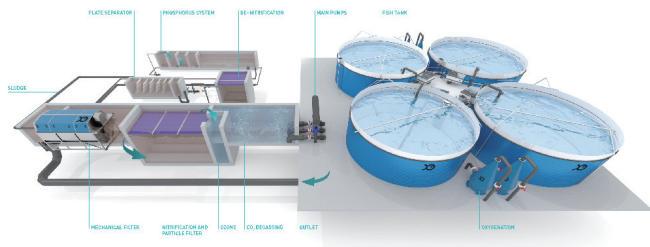


図2-4 AKVA 社の提供する陸上養殖施設一式のコンセプトイメージ。
(Credit: AKVA Group ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

AKVA グループのソフトウェア開発

AKVA グループでは、自社グループ内で機器 (ハードウェア) の開発だけではなく、ソフトウェアの開発も手掛けている。AKVA グループの開発するソフトウェアの中で代表的なものが「Fishtalk control®」である (図2-5)。

同ソフトウェアは、養殖管理ソフトウェアのパッケージである。そのコンセプトは、「育種から取り上げまで」である。ソフトパッケージなので、目的に合わせた複数のソフトが含まれているが、最も基本的なのが生産管理のためのソフトである「Fishtalk Plan®」である。Fishtalk Plan® は、ノルウェーの大手養殖業者も多数取り入れている生産管理ソフトである。ノルウェー大手の養殖会社では、企業全体での生産管理は本社側が実施し、現地での生産管理は現地で行うという分業体制がとられているようだ。このため、「Fishtalk Plan®」についても、全体での生産管理と現地での生産管理両方が行えるように設計がされている。このソフトウェアには生産計画を立てていくため、様々なシナリオに基づいて将来予測を行うための機能が含まれている。



図2-5 生産管理ソフト FishTalk control®
 (Credit: AKVA Group ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

Fishtalk Plan® は、データに基づき、養殖魚について最適な給餌量を提案してくれるが、このために必要な成長予測に関するデータは、養魚飼料メーカーから提供を受けているとのことである。AKVA 社と養魚飼料メーカーの付き合いは深く、成長予測データを提供しているだけではない。ノルウェーでは、送風による自動給餌が一般的だが、風圧が強すぎて餌が破損してしまうと給餌量に差が出てしまうため、AKVA 社が自社製品を使った際にそういった問題が発生しないよう、飼料メーカーにテストをするための装置を貸し出すといった協力もしているようだ。Fishtalk control® にはここで紹介した Fishtalk Plan® 以外にも、環境調査データを管理するための Fishtalk Environmental Monitoring や、生産のベンチマークを行うための Fishtalk Benchmarking といった多数のソフトウェアが含まれている。

そして、もう1つの重要なソフトが、養殖生産現場の機器を制御するためのソフトウェアである AKVA connect® である。ノルウェーの養殖生産現場は、

様々な作業が自動化されており、バルジからコントロールしている。このため、カメラやライトを制御するソフトや、給餌装置をコントロールするソフトウェアが必要になる。そのためのソフトが AKVA connect® である。日本では、現在多くのベンダーが様々な養殖関係のソフトウェアやアプリを開発していると思われるが、そこで開発している機能の多くは、既に Fishtalk control® かあるいは、AKVA connect® で実装されている機能ではないかと思う。

AKVA 社では、更に総合サプライヤーという点を活かして、養殖機器や生簀自体を管理するための Fishtalk equipment® や、最近では AI を活用した給餌支援ソフト AKVA observe® などの開発も行っている。

海中給餌装置やその他の製品群

AKVA では海中給餌のシステムを開発している。これは、サケジラミが海中の表層を漂って感染することから、養殖魚ができる限り表層にいる時間を減らすことを目的としている。ただし、表層であればスプリンクラーのような散布機を使って、生簀全体に万遍なく餌を散布することができるが、海中給餌では、それが使えないという問題がある。そこで、AKVA 社では、図2-6 のような特殊な形状の給餌装置を作り、海中においても広範囲に餌を散布する方法を提案している。アトランティックサーモンは、光で制御できることが知られており、この海中給餌装置は、同社が供給する海中ライトと合わせて使用される、という。

その他にも、養殖生簀の清掃ロボットや作業用ボート、死魚の回収装置なども開発されている。同社が養殖に必要な機器で、開発していないものは、ほぼ無いのではないだろうか。AKVA 社の製品については、まだまだ日本では認知度が低く、普及も進んでいないが、それは、小規模経営体が多いという我が国の魚類養殖業側の事情もあるだろう。また、日本の法規制等への対応もあるかもしれない。それは裏を返せば、我が国特有の事情が存在しない海外市場では、同社の製品群が競争力を持つということである。日本の養殖機器メー

カーが、海外市場に挑む際には、AKVA 社と競合することとなる。日本のメーカーは国内市場を基礎に技術開発を始め、成功を取めたら海外という構想を描いているかもしれないが、ノルウェーの競合先は手強いという認識が必要かもしれない。



図2-6 AKVA 社の水中給餌設備。ライトと一緒に使用して魚群を中層に維持する。
(Credit: AKVA Group ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

AKVA グループのサポート

AKVA サービスのサポート体制

AKVA グループの強みとして、餌と仔魚以外の全てを供給できる体制にある点を挙げたが、もう1点、強力なのがそのサポート体制である。同社はノルウェー全土にサービス拠点を設けており、自社の養殖機器に何か問題があれば、直ちに駆け付けて対応できる体制が整っている。ノルウェーでは、1つの生簀で大量の魚を飼育しているため、給餌装置が止まり餌が供給できなくなると魚が痩せて巨額の損失となる。このため、トラブルへの対応はスピードが命である。サービス拠点では多数の技術者が雇用され、機器の修理なども行っている。同社がサポート体制の維持に費やす費用も莫大である。

さらに、同社ではサポートの一環として、生産者が同社の機器を使いこなせるようにするための教育のサービスを提供している。ノルウェーの養殖業界では、養殖業の生産活動とそのサポートの分業がしっかりしており、生産者は供給された機器を使って生産することに専念できる。機器のメンテナンス・補修等の“生産”以外の活動については、それを供給する機器メーカー側が行う、という分業体制が確立しており、業界全体として効率化が進んでいる。

養殖機器のレンタル

同社はノルウェーでは、養殖機器のレンタルサービスも行っている。養殖機器の購入は初期投資が多くかかるという課題があるが、同社では、これを機器の交換修理・メンテナンス・サポート・トレーニングサービスなど全て込みで貸し出すというビジネスを展開している。これも、同社が機器の修理やメンテナンスも含めて行っているからできるサービスである。我が国の養殖業界が成長産業化していくためには、最先端の養殖機器を導入するための方法に顧客のビジネスモデルや経営体力に応じて、このようなレンタルという選択肢も用意されると良いかもしれない。

AKVA 社は日本ではサポート体制を構築するほどのシェアを確立できておらず、このようなサービスが展開されていない。日本でも、こういったサービスを展開する企業が現れることを期待したい。

養殖生簀

養殖の中でもっとも重要かつ基本的な機器が生簀である。これについては、AKVA group の Egersund Net 社の Tom Asbjørn Hatleskog 氏にインタビューをさせていただいたので、同氏へのインタビュー内容を踏まえて説明をしたい。

同社と AKVA グループとはもともと、養殖機器の開発において協力関係にあったが、2013 年に Egersund Net 社が属していた Egersund グループが AKVA グループに資本投入し、さらに 2018 年に AKVA グループが Egersund Net 社を買収により完全子会社化したことにより、両社は資本面でほぼ一体化したグループとなった。

Egersund Net 社の主な製品は、養殖生簀用の網である。養殖生簀用の網、というカテゴリだけ考えれば、我が国でも多数の企業が様々な製品を開発・販売している。ノルウェーでは、①1 ケージあたりの飼育数が膨大であるため破網により養殖魚が逃避するとその損失が桁違いになる。②逃避した養殖魚がサケジラミの感染や交雑によって天然魚に与える影響が懸念されており養殖魚の逃避に関する規制が非常に厳しい、といった点がメーカーにとって重要である。このため、ノルウェーの養殖用生簀は、金庫のように頑丈であることが求められる。反面、あまりにも網地を細かく丈夫に作りすぎると、今度は通水性が悪くなり、生簀内の溶存酸素量が低下して成長速度に影響が出たり、疾病が蔓延しやすくなったりする。Egersund Net 社は、この二律背反的な目標を同時にクリアすることを目指して製品を開発している、とのことである。

同社について、いくつか特徴的な点を紹介したい。

まず1つは、同社が顧客のニーズや設置環境を踏まえて、最も適切と思われる養殖生簀を提供できる体制にある、という点にある。同社が顧客から養殖

生簀を設置したいという相談を受けた場合、顧客のニーズを確認しつつ、顧客が生簀を投入しようと考えている場所の海流等の環境データを収集し、そのデータを基にコンピュータシミュレーションを行って、最適と思われる生簀の形状を提案しているとのことであった。また、同社ではシミュレーションによる結果を示すだけでなく、実際に小型の模型を作成し、SINTEF（ノルウェー産業科学技術研究所）が所有する実験用プールで現場を再現した実験を行って、網なり等を評価しているとのことであった。この実験は、通常、顧客を招いて行い、顧客の目の前で実際の網なりを確認しながら、最終的な形状を決めるとのことだった（図2-7）。

もう1つはサポート体制で、同社も AKVA グループ同様に、ノルウェー全土にサービス拠点を有しており、魚体サイズに合わせた網の交換や定期的なメンテナンスなど全て実施している、とのことであった。



図2-7 Egersund Net では網なりを顧客と確認しながら最終的な形状を決める。
（Credit: AKVA Group ASA, 同社より許諾を得て掲載。）

同社を含む AKVA グループのサービスの共通点は、顧客の要望や環境に合わせて、最適と思われる製品を提案すると同時に、サポートやメンテナンスも提供する、という点である。生産者は、養殖機器の検討、維持・管理にほとんどエフォートを割くことなく、魚の飼育のみに集中できる。養殖産業が成長産業化していく過程では、生産と、そのサポート（機器選定やメンテナンス等）との分業化が進展し、生産者が果たすべき役割が「魚の飼育」に特化していくことが求められるだろう。

生産現場の実情

今回の調査では、同社の機器を扱う養殖生産現場でのヒアリング調査も実施した。そこで、我が国の養殖業の生産現場との思想の違いを感じることができた。

我々が訪問したのは、トロンハイムからフェリーで1時間40分程度の距離にある、ヒートラ島に所在する Leroy Seafood グループの養殖場である。ヒートラ島はノルウェーのアトランティックサーモン養殖発祥の地と言われているようで、同社以外にも複数の企業が大規模な養殖場を開設している。Leroy Seafood グループは、ノルウェーのサーモン養殖企業の生産量第3位で、AKVA グループにとっても重要な顧客である（図2-8）。

訪問先は、典型的なアトランティックサーモンの養殖場で、直径数十メートルの生簀が複数浮いており、スプリンクラー式の自動給餌装置で給餌を行っていた。ちょうど、生簀から養殖魚のサンプルを取り出して、実際のサイズを計測している最中であった。我が国でも、養殖魚のサンプリングは行われているので、この点はノルウェーも直接サンプリングをして、計測しているようだ。

作業は専用の作業船で行われており、広い甲板でコーヒーを飲みながら和やかに行われていた。興味深いと感じたのは、この養殖場の現場責任者である Stian Lernes 氏が、計測データを専用の計測用紙に記入していた点である。

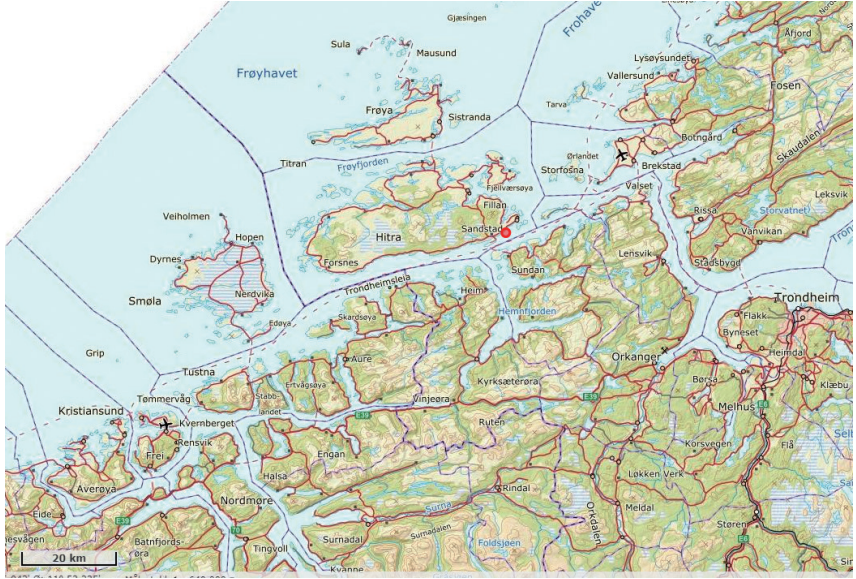


図2-8 訪問したレイ社の養殖施設の所在地（赤丸）

「養殖業へのICTの導入」という観点で考えると、まずこの入力作業を、タブレット類などのデジタルデバイスに置き換える技術開発を進めがちだが、最先端技術国であるはずのノルウェーでは未だに紙と鉛筆を使っていた。なぜ、ここをデジタル化しないのか、その必要性を感じないのか、と伺ったところ、「家のパソコンでコーヒー飲みながら、間違いがないかどうかチェックしてデータを入力するので、その必要性を感じない」と言われた。同社の養殖管理のシステムはクラウド化されており、同社の従業員であればどこからでもアクセスできるとのこと、あえてこの現場で、デジタルデバイスを活用して入力する必要性は感じていないとのことだった（図2-9）。

訪問した時、ちょうどアトランティックサーモンの給餌の真最中であったが、作業船では一切、給餌行為は行っていなかった。給餌作業は、近隣のバルジから遠隔で行っているからである。海上に家を一軒浮かべたようなバルジを見



図2-9 テッキ上での計測作業。この作業は予期していたものよりアナログだった。

学させてもらい、カメラとモニタを用いた遠隔給餌の様子も見学させていただいた。カメラとディスプレイを通じて、生簀内のアトランティックサーモンの様子を確認しながら、ボタンをクリックして餌を散布する。最適な給餌量はモデルから予測されているものの、微妙な調整は、魚の食い気を見ながら行うため、長年の経験がものを言うとのことである。この点、使用する機材はハイテクだが、技術開発の余地はありそうだと感じた。日本では養殖魚への給餌は重労働であるが、ノルウェーはコーヒーを飲みながらできる事務作業に近い。(図2-10)。

給餌にかかる労働負荷以上に違いを感じたのが、ノルウェーの給餌に対する考え方と、装置のメンテナンスに対する姿勢である。私が訪問した養殖場では、バルジの給餌システムが古かったため、餌のカスなどが溜まりやすく Lernes 氏は、毎日1度、30分程度かけて丁寧に掃除をしていると言っていた。また、給餌のためのパイプも餌のカスなどが付着するため、週に1度程度専用のポンジを投入して清掃していると言っていた(図2-11)。

ただ、これは、養殖機器を長く使用するためのメンテナンスではない。機器やパイプに餌のカスが付着して通気性が損なわれると、ポンプで意図した適切な量の空気を送り込むことができなくなる。すると、送風量が少なすぎてパイ



図2-10 自動給餌。適切な量の給餌をするため生簀内の様子を常に観察している。



図2-11 スポンジを投入して風圧で押し出しパイプ内を清掃。給餌のベストパフォーマンスを出すために常に装置の手入れを欠かさない、という。

プ内で餌が滞留したり、逆に多くなりすぎて餌が風圧に耐えられず破損したりする。結果として、ソフトウェア側で計測している餌の「投入量」と、給餌システムを通じて生簀内に投入された餌の「正味量」に差が生じる。それは、餌代

が余計にかかるばかりか、その給餌量から期待される成長と、実際の魚の成長とに差が生じる原因になる。つまり、この清掃作業は計画生産の実現に必要な正確な給餌を実現するための作業である。

今回の調査を通じて、ノルウェー養殖現場を貫く思想は「計画性」と「正確性」であると感じた。これは、ノルウェーの養殖業が「量」で規制されている事の影響も大きいだろう。大手養殖業者は、本社で全体の出荷計画を管理している。個々の養殖場の成長具合を見ながら、出荷量を会社全体で調整し、安定した供給を実現している。過小給餌だと、市場が求めるサイズまで魚が成長しておらず、出荷が遅れて全体の生産計画に狂いが生じる。一方、ノルウェーでは養殖ライセンスは、MBTにより管理されているため、過剰に餌を与えると、MBTの上限に予定より早く達し、計画より早く出荷せざるをえなくなる。したがって、現場責任者は、本部が決めた計画通りに、いかに正確に魚を育てるかを求められている。Lernes 氏曰く、現場責任者の評価も、生産計画に沿っていかに正確に魚を育てているかを数字で評価されている、とのことで、その精度を高めるため、日々の機器の清掃は欠かさないようにしているとのことだった(図2-12)。

Lernes 氏へのインタビューからノルウェーと日本とでは、養殖の機器に求めているニーズに違いを感じた。Lernes 氏は、AKVA 社の給餌装置は精度が高いと感じており、自分の養殖場も早く同社の製品に切り替わらないだろうか、と述べていた。つまり、養殖機器の規格化・標準化が進展し、自動給餌が当たり前となったノルウェーでは、自動給餌できるだけでは製品の売りにならないのである。Lernes 氏は、AKVA 社の製品に、「自動で給餌ができる」以上の価値、つまり、他社より正確であることを認めていた。他方、我が国の養殖現場は、自動化・省力化が進んでいないため、それを実現できるだけでも十分な評価を受ける。現場が求めているニーズが自動化・省力化なのか、あるいはその先の「厳密性」なのかという違いは意識しておく必要があるだろう。我が国の養殖業からみれば、同社の製品は高価でオーバースペックに映るかもし

れない。ただ、グローバルに養殖機器を販売していく上では、同社の技術と競争していくことが求められる。同社のシステムと何らかの差別化ができなければ、太刀打ちできないだろう。ノルウェーの現場を実際に訪問して、養殖産業の規格化・標準化の進展や産業構造の違いが、技術開発で求められている「ニーズ」や「水準」に違いをもたらしていることを実感した。

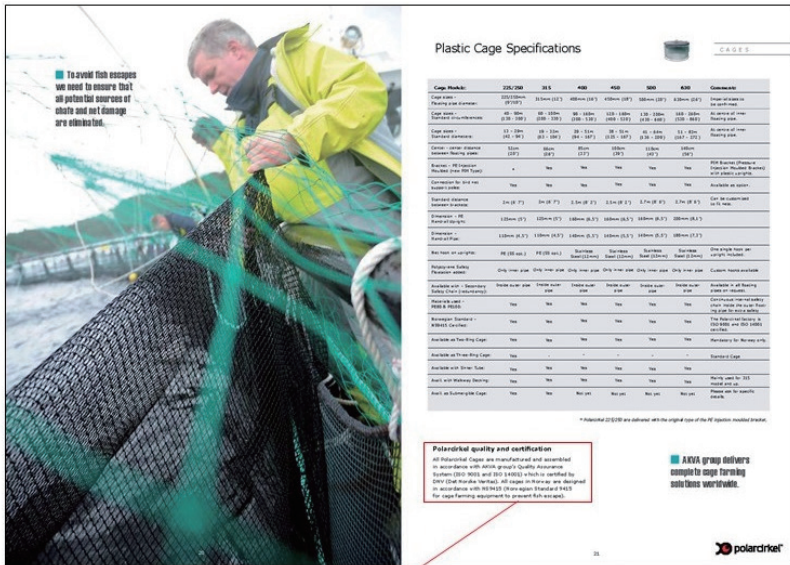


図2-12 レロイ社の Stian Lernes 氏（右）。追求するのが「正確性」というだけで、職人気質という点では、日本の養殖業者と違いはない。（左は AKVA 社の Karlsen 氏）

Norwegian Standard と ISO/TC 234

ノルウェーの養殖業で規格化・標準化が進んでいるのは、ノルウェーが規格化・標準化に熱心に取り組んできたからである。ノルウェーには養殖業に関して、国内規格が存在する。AKVA 社の製品カタログには、図2-13のように「この製品は NS9415 に準拠して設計されています」という記述があるが、この NS というのは Norwegian Standards つまり、ノルウェー標準を意味する規格である。

ノルウェーでは以下に示すように、養殖業にかかるいくつかの標準規格が策



ポラサークルの品質と認証

Polardirkeel quality and certification
 All Polardirkeel Cages are manufactured and assembled in accordance with AKVA group's Quality Assurance System (ISO 9001 and ISO 14001) which is certified by DNV (Det Norske Veritas). All cages in Norway are designed in accordance with NS9415 (Norwegian Standard 9415 for cage farming equipment to prevent fish escape).

“ノルウェーの全ての養殖イクスは NS9415（養殖魚の逃避を防止するための養殖イクス設備に関するノルウェー標準規格 9415）に従って設計されています。”

図2-13 AKVA 社のカタログと NS9415 による品質認証

定されている。

- NS 9415: Marine fish farms-Requirements for site survey, risk analyses, design, dimensioning, production, installation and operation
- NS 9410: Environmental monitoring of benthic impact from marine fish farms
- NS 9416: Landbased aquaculture farms for fish-Requirements for risk analyses, design, execution, operation, user handbook and product data sheet

この中には、陸上養殖における国内標準規格も存在している。原文を入手

できた NS9415 を確認する限りでは、漁場調査の手法や、養殖機器、養殖施設といった幅広い項目について、かなり細かく国内標準規格が作られている。もっとも、私は工学や養殖機器の専門家ではないので、その基準は国内養殖業や国内の機器メーカーの製品と比較して、容易にクリアしうる規格なのかどうかについてまではわからない。ただ、この標準規格の策定が、業界の競争力強化に大きく貢献しており、さらにこのノルウェーの標準規格が国際標準規格のベースとなっていく可能性は極めて高い、と考えている。

私がそう考える理由として3点ある。まず1つが、AKVA 社がこのノルウェー標準規格に準拠した商品を海外で積極的に販売しているからである。つまり、彼らが養殖機器を海外で売れば売るほど、ノルウェー標準規格に対応した商品のシェアが拡大していき、それが「当たり前」になる。2点目は、ノルウェー以外の国がこのノルウェー標準規格を参考として、自国の標準規格の策定に動いているという点である。Karlsen 氏の話では、スコットランドで策定されている養殖業の国内標準規格はノルウェー標準規格を参考にして作られたものだという点である。実際、公開されているスコットランドの標準規格の謝辞には、NS9415 が含まれており、同基準を参考にして規格が作られたことが推察される。3つ目は、養殖業の国際標準規格自体がノルウェーを中心に定められつつあるからである。養殖業の国際規格は、ISO/TC 234 FISHERIES AND AQUACULTURE において定められているが、その事務局は Standers Norway (NS を決めている機関) である。図2-14 は、ISO/TC 234 の参加メンバーであるが、その中心はサケ養殖の盛んな北米(米国、カナダ)、南米チリ、EU 圏(英国等)の国々である。ISO/TC 234 では、以下のような標準規格が作られているようだ。

- ISO 12878:2012 Environmental monitoring of the impacts from marine finfish farms on soft bottom
- ISO 16488:2015 Marine finfish farms -- Open net cage -- Design and operation

- ISO 16541:2015 Methods for sea lice surveillance on marine finfish farms

養殖業界の標準化は少しずつ進んでおり、先行する Norwegian Standards の与える影響は大きいと考えられる。AKVA グループの機器販売が拡大するほど、ノルウェーの養殖産業での基準が事実上のグローバルスタンダードになっていくことが予想される。この標準化の動きは、日本国内では十分に注意が払われていないので、今後その動向を注視していく必要があるだろう。

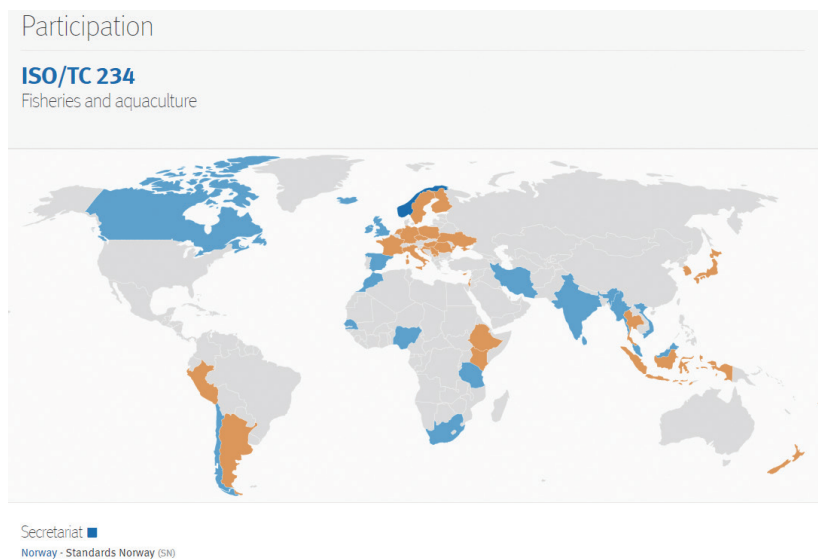


図2-14 ISO/TC-234 メンバー（水色が参加メンバー、オレンジがオブザーバーメンバー）
出典： <https://www.iso.org/committee/541071.html?view=participation>

第3章 将来確立される可能性がある最先端養殖技術 —開発ライセンス制度がもたらす異次元の技術開発—

AKVA グループが販売している養殖機器を「現在の到達点」とするならば、これから紹介する内容は「将来の到達点」になりうる技術と言える。ノルウェーの養殖業は成長を続けていく中で、いくつかの課題も生んできた。特に、「サケジラミの感染拡大」や「養殖魚の逃避」は根深い課題である。また、産業の成長という観点からは、環境収容力も問題になりつつある。ノルウェー沿岸には既に多数の養殖生簀が投入されており、これ以上の投入が難しい地域も出始めている。ノルウェーの養殖業は、常に成長を遂げてきた産業であるが、ここに来て成長が止まるのではないかと、という危機感がある。「サケジラミ」「養殖魚の逃避」といった、今ある課題を解決しつつ、環境収容力の限界を超えていく、革新的な技術開発が求められている。そのような技術開発を、国として進めていくためにノルウェー政府が創設した制度が「開発ライセンス (Development License)」制度である。

開発ライセンス制度とは

開発ライセンス制度の創設とそのスキーム

開発ライセンス制度とは、環境収容力の限界や環境汚染等問題を解決しうる新たな技術開発を支援するため、ノルウェー政府が、一時的な制度として2015年に創設した特別な養殖ライセンスの制度である。開発ライセンス制度は、大規模な投資を伴い、かつ大きなイノベーションを起こしうるプロジェクトを事業者が提案する。それを漁業局が審査し、合格したものについて、特別な養殖ライセンスである「開発ライセンス」を発行するという仕組みである。この制度は、国家全体での技術開発の推進を目的としているため、各プロジェクトで得られた知見については、一定程度、養殖業界全体で共有することが求めら

れている点も特徴の一つである。

この制度の最も驚くべき点は、この国家規模での技術開発に政府補助金を一切使っておらず、民間投資で行われている点にある。そして、その投資規模も、1つのプロジェクトで、数十億、ものによっては百億円を超える規模に達するようである^{注1}。2019年4月30日現在で11のプロジェクトが審査を通過し、ライセンスが発行されている点を踏まえれば、全体として次世代養殖技術の開発に数百億円から一千億円を超えた金額が投資されているとみられる。

ただ、この民間投資を主体とした技術開発の推進には、ちょっとしたカラクリがある。この開発ライセンスによる研究開発は、「提案した研究開発を、提出した計画に基づいて実施する」という契約を、提案者とノルウェー漁業局が結ぶ形で実施される。ライセンスの受領者は、その研究開発を契約通りに履行すれば、開発ライセンスを1,000万ノルウェークローネ（日本円で約1.4億円）を支払うことで、一般の商業ライセンスに転換できるのである。一方で、現在、養殖業の商業ライセンスの時価は、この転換価格を遥かに上回っている。2018年にオークションによる商業ライセンスの新規発行があったが、この際についての値段が、1ライセンス（780トンまで養殖可能）あたり、およそ1億～2億ノルウェークローネ（およそ15億から30億円）であった。つまり、開発ライセンスの審査を通過し、漁業局と契約を結び、計画を契約通り履行しさえすれば、その後、開発ライセンスを商業ライセンスに転換することで、（1ノルウェークローネを13円で換算すると）、1ライセンスあたり、12～25億円の「差額」分を資産として得られるのである。開発ライセンスを、商業ライセンスに転換できるかどうかの条件は、「計画を予定通り遂行したかどうか」であって、「技術開発がうまくいったかどうか」ではないという点もポイントである。つまり、挑戦的なプロジェクトを提案し、高額な研究投資を行うことになったとしても、それを予定通り実施さえできれば、十分に回収できる「見込み」が立つ制度なのである。開発ライセンス制度とは、言い換えれば、開発ライセンスを商品とした、国家規模の技術開発コンペである。

開発ライセンスへの公募は 2016 年～ 2017 年までに実施されていて、104 件の応募があった。現在、公募は締め切られており、応募されたものについて審査を実施し、順次ライセンスを発行している状況にある。この制度は、多額の資金が動くため、審査の内容も一定の情報開示が行なわれており、また、審査結果に納得がいかなければ申し立てを行えるような制度になっている。また、審査も外部委託といった形で行われているわけではなく、全て「漁業局の職員」が実施している。漁業局でこの制度の責任者を務めている Anne Osland 氏にお話を伺ったところ、この制度には、50 の法律専門家、8 人のエンジニア、他、経済学者、生物学者などが関わっており、それぞれの専門的知見に基づいて審査を行っているという。特に、8 人のエンジニアについては、この制度のためだけに雇用された専門家ということであった。

現在進められている技術開発

新技術開発の方向性 その1： 大規模沖合養殖技術の開発

ここからは、この開発ライセンスを活用して開発が進められているいくつかの「具体的なプロジェクト」を紹介しながら、ノルウェーの養殖業がどのような最先端技術を開発しているのか紹介していきたい。

まず、最初に紹介したいのは、大規模な沖合養殖技術開発のプロジェクトである。大規模沖合養殖については、規模の経済というメリットを活かすことができる、沖合に養殖環境を移すことでサケジラミなどの問題が緩和されるという期待から、いくつかのプロジェクトが進められている。開発ライセンス制度に最初に認定され、かつ最も進捗度が高いプロジェクトが、ノルウェーの Salmar 社が進めている「Ocean Farm One」プロジェクトである(図3-1)。このプロジェクトは、巨大な黄色の鋼鉄製の養殖生簀を沖合に浮かべ、大規模にアトランティックサーモンの養殖を行うプロジェクトである。既に建造されて試験が行われており、最初に養殖されたアトランティックサーモンの出荷も完了している^{注2}。

既に、日本でも業界新聞などで断片的に紹介されているので、ご存知の方もいるかもしれないが、この養殖生簀は高さ 68 m、直径 110m という大きさ^{注3}で、250,000 立法メートルという容積があり、報道によればその中で 150 万匹のアトランティックサーモンが飼育可能ということである^{注4}。



図3-1 Salmar の Ocean Farm One。既に稼働している。
(Credit: Salmar ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

これだけ巨大な養殖プロジェクトだが、その建造にはノルウェー国内外の複数の企業関わっている (表3-1)。

表3-1 Ocean Farm One プロジェクト参画企業・団体

参画企業・団体	参画内容
Global Maritime AS	Design and systems integration
Kongsberg Maritime AS	Electrical installations and Instrument for marine and fish handling system
Mørenot Aquaculture AS	Full outfitting, nets and moveable bulkhead arrangement
Malm Orstad AS	Drive system for moveable bulkhead
Emstec GmbH	Equipment and systems for fish transfer

Graintec AS	Equipment and systems for receipt and distribution of fish feed
Optimar Stette AS	Equipment and systems for handling dead fish
Pump Supply AS	Equipment and systems for net cleaning
CSIC QWHI	Hull construction and installation of marine systems
DNV GL/Noomas	Third-party verification and certification
MARINTEK	Model testing and associated analysis
Sintef Fiskeri-og Havbruk AS	Environmental data and calculation of currents
Fugro Oceanor AS	Environmental data and wave calculations
Rammås Bruk AB	Mooring chain
Lankhorst Euronete S.A.	Fibre ropes
Farstad Offshore AS	Installation mooring system and fishfarm

(出典：Salmar 社 HP <https://www.salmar.no/en/offshore-fish-farming-a-new-era/>)

この中で注目したい企業がいくつかある。まず、デザインとシステムの統合を行っている Global Maritime 社である。同社はノルウェーにある洋上石油プラントなどの技術を持つ開発コンサルタントである。Ocean Farm One は、洋上石油プラント同様に沖合で係留されている。つまり、設計自体に、石油産業で培われたノウハウが転用されているのである。拙著、「ノルウェーのグローバル・インテグレーションの展開—ノルウェー資本の拡大—」でも触れたが、ノルウェーの水産業界は自国の石油産業と関連性が深い。そして、その強力なつながりは、養殖業の最先端技術の開発においても活かされているようだ。

次は、Kongesberg Maritime である。同社は Kongesberg グループで、同グループはノルウェーの最先端技術を開発しているグループである。軍事技術や衛星技術、海洋関係を事業領域に抱えている。日本でいえば、(株)IHI や川崎重工(株)を想像すると分かりやすいかもしれない。後述する Mariculture プロジェクトも同社が関わっている。つまり、ノルウェーにおいて養殖技術の開発は、軍事技術の開発を行う最先端技術を持つ企業に関わる領域なのである。

次は SINTEF である。SINTEF は前章でも言及したが、ノルウェー産業科学技術研究所の略称である。これらの沖合養殖施設のモデル実験については、SINTEF が行っており、Ocean Farm One も、SINTEF の施設で小型模型を浮かべて実験をしたと聞いている。AKVA グループの養殖イケスの実験も SINTEF の施設で行われていたことを踏まえれば、SINTEF が養殖産業の技術開発に大きく貢献していることは疑いの余地が無いだろう。

そして、もっとも注目すべき企業はこの建造を行っている。CSIC QWHI である。これは、China Shipbuilding Industry Corporation Qingdao Wuchuan heavy industry Co. Ltd (中国船舶重工集团公司 青島武船重工有限公司) の略である。つまり中国の超大型国有企業である中国船舶重工集团公司の一部門が建造した、ということである。同グループは、中国の重要な軍需企業の 1 つで、中国国産空母や海軍艦船の建造も手掛けている組織である。中国船舶重工集团公司にはいくつかの子会社があり、そのうちの 1 つである武昌船舶重工集团有限公司の子会社が、青島武船重工有限公司である。ノルウェーは、設計などの主要な部分は自国で技術を囲い込んでいるものの、実際に「ハード」を作る部分については、造船業が盛んな中国に委託したと考えられる。ただ、この判断が、後述する中国での沖合養殖施設の開発につながっている、と私は考えている。

Ocean Farm One は開発ライセンスに基づき展開されているプロジェクトの中でもっとも進捗度が高く「実証段階」にある。一方、沖合養殖大規模養殖プロジェクトの多くは、ライセンスは受領したものの実証はまだ始まっていない。その 1 つとして紹介するのが、Mariculture AS (現在は Salmar の子会社) がライセンスを受領した「Smart Fish Farm」プロジェクトである (図3-2)。同プロジェクトは、Ocean Farm One よりも、さらに大型の沖合養殖生簀を投入する計画である。報道によれば^{注5}、直径 160m で、300 万匹のアトランティックサーモンを飼育できるということなので、単純に Ocean Farm One の倍の魚を飼育できるということになる。また、Ocean Farm One は「世界初の沖合養殖」を

コンセプトとしているものの、実際はノルウェーの島嶼群より内側に投入されているため、本来の意味で「沖合養殖」と呼べるか疑問の余地がある。一方、「Smart Fish Farm」が投入される予定の海域は、沖合ノルウェー EEZ 内ではあるものの、外洋域なので、正真正銘の「沖合養殖」生簀と呼べるだろう。このプロジェクトは、2019 年の 2 月に開発ライセンスの交付が決まったばかりなので、今後具体的な計画が動いていくことになる。

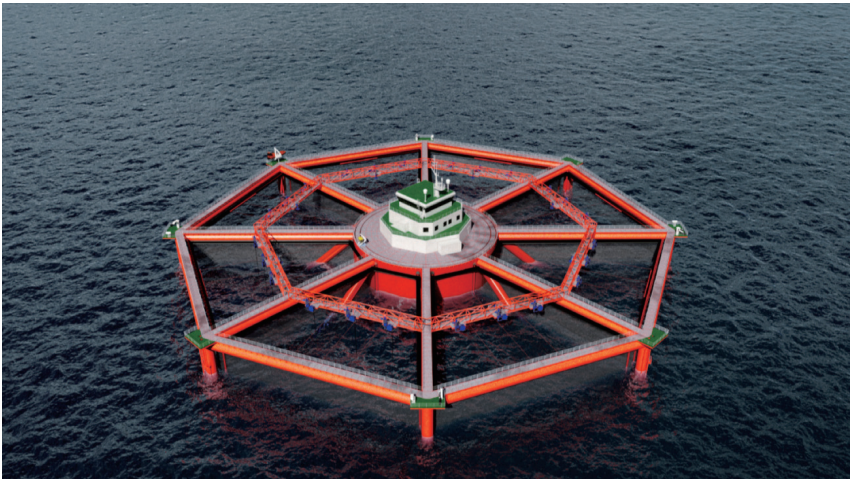


図3-2 Mariculture の SmartFishFarm プロジェクト
(Credit: Salmar ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

新技術開発の方向性 その2： 移動可能な大型養殖生簀の開発

次に紹介するのは、開発ライセンス制度でもっとも多くライセンスを獲得した Nordlaks 社の船型養殖生簀 Havfarm である。現在、この生簀は建造が進められているとのことで、全長 385m、タンカーほどの大きさがある^{注6}。同社の HP^{注6}を見れば、その巨大さに圧倒されること間違いなし。報道等によれば、このプロジェクトにも EU の主要なハイテク企業が複数関わっているとのことである。例えば、航空機エンジンや防衛技術で名高い英ロールスロイス社は養殖

イクスの移動のため、6機の大型推進機(TT1100)を供給する^{注7}。また、独シーメンス社は陸上から同養殖イクスに対して陸上から電気を供給するためのケーブルや、オートメーションサービスを供給している^{注8}。そして、この建造についても中国の大手造船企業 CIMC Raffles が受注している^{注9}。同社は中国の国営企業グループ中国国際海運集装箱(集団) 股份有限公司の子会社で、洋上プラントなども手掛けている。また、韓国の手財閥が、この方式で養殖業界に参入することを検討しているといった報道もある^{注10}。

新技術開発の方向性 その3： 密閉型養殖生簀の開発

世界最大のサーモン養殖業者である MOWI 社(旧 Marine Harvest 社)が取り組んでいるプロジェクトが、Egg というコンセプトの、密閉型の養殖生簀である(図3-3)。Egg は、高さ 44m、幅 33m の卵型をした遮蔽型の生簀で、90% が海中に沈んでいる^{注11}。これまで紹介した沖合養殖生産の事例とは異なり、沿岸域での投入が予定されており、14 の開発ライセンスを得ている。報道によれば、2019 年中に魚を飼育し始める予定であるとされている^{注11}。遮蔽型の養殖生簀が開発される背景としては、養殖魚の逃避とサケジラミの問題があると推察される。養殖生簀を外部と隔絶することにより、逃避と外部からのサケジラミの侵入、両方を解決することが期待されている。

新技術開発の方向性 その4： 個体レベルでの養殖管理

最後に紹介するのは、三菱商事の子会社である Cermaq 社が手掛ける iFarm プロジェクトである(図3-4)。同プロジェクトは 2019 年 3 月に 4 ライセンスを受領している。このプロジェクトで同社が目指しているのは、コンセプト映像^{注12}を確認してもらうとよくわかるが、アトランティックサーモンを画像認識技術により個体識別し、個体ごとに体サイズやサケジラミの感染状態などを分析して管理し、飼育する技術である。他のプロジェクトが、沖合域への拡大や、外部からの遮蔽といった方向性を志向しているのに対し、このプロジェクトは

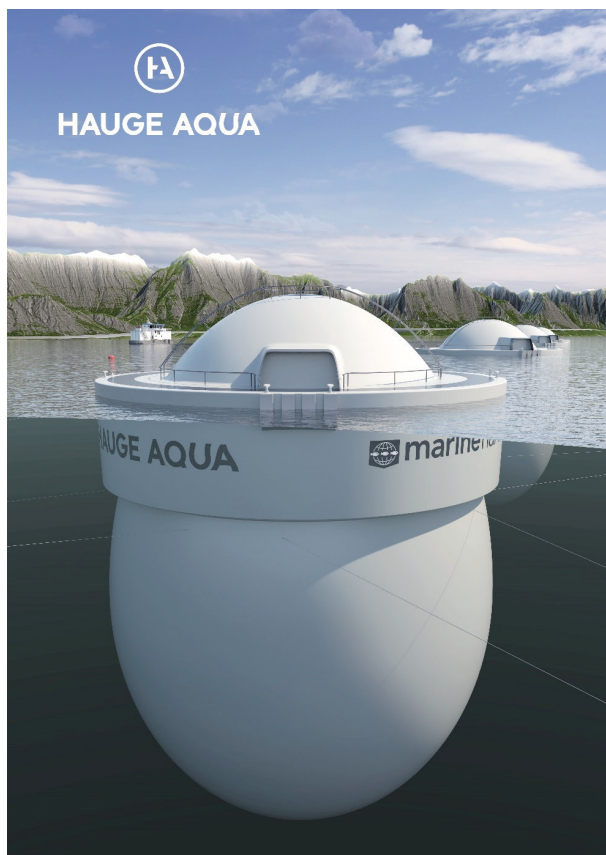


図3-3 MOWI 社の Egg コンセプト。(Credit: MOWI ASA, 同社より許諾を得て掲載。)

個体識別の技術により、魚類養殖を「集団」という単位から「個体」という単位に変えようとする発想がユニークである。

日本でも、養殖生簀内の映像や画像を、画像解析技術を用いて解析し、数量把握やサイズ計測に活用しようという動きはあるものの、個体ごとに魚を管理しようという野心的な取り組みにまで発展していない。この技術が確立されると、魚類養殖は畜産業のように、個体毎での管理を基本とする産業に転換

する可能性がある。

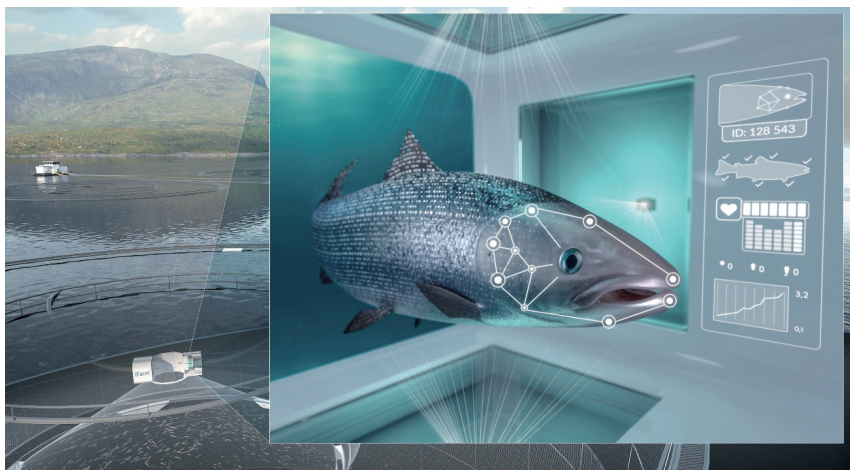
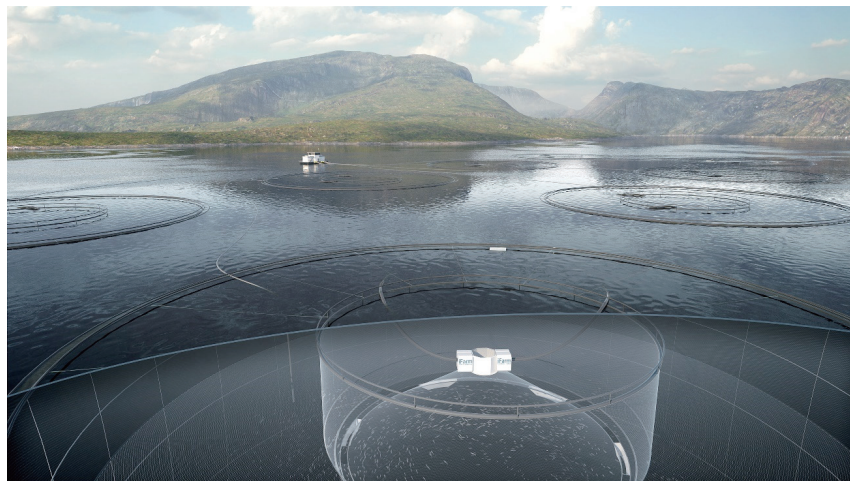


図3-4 iFarm コンセプト。養殖イセス(上)に画像認識技術により個体識別を行う装置(下)を装着し、タイセイヨウサケの個体管理を目指す
(Credit: Cermaq Group AS, 同社より許諾を得て掲載。)

開発ライセンスを獲得したプロジェクト・落選したプロジェクト

2019年4月30日時点で、ノルウェー漁業局から開発ライセンスを認められたプロジェクトは、表3-2の通りである。11のプロジェクトが開発ライセンスを受領している。一方で、それらをはるかに上回る85のプロジェクトについて、既に「落選」が決まっている。

表3-2 開発ライセンスを受領したプロジェクト一覧

No.	応募者	交付決定日	評価	コンセプト名	地域
1	Ocean Farming AS (SalMar)	2016/2/26	8 ライセンス (6,240 トン)	“Havmerd” basert på offshoreteknologi	Sør-Trøndelag
2	Nordlaks Oppdrett AS	2017/9/7	21 ライセンス (16,380 トン)	“Havfarm” for havbasert oppdrett	Nordland
3	MNH Produksjon AS	2017/4/28	4 ライセンス (3,120 トン)	“Aquatraz” – semi-lukket merd	Nord-Trøndelag
4	AkvaDesign AS	2018/6/5	2 ライセンス (1,560 トン)	Lukket merdteknologi	Nordland
5	Marine Harvest Norway AS	2018/3/1	6 ライセンス (3,120 トン)	“Egget” – lukket merdteknologi	Hordaland/Sogn og Fjordane
6	Atlantis Subsea Farming AS	2018/2/22	1 ライセンス (780 トン)	Nedsenkbare oppdrettsanlegg	Trøndelag
7	NRS ASA / Aker ASA	2018/3/9	8 ライセンス (5,990 トン)	«Arctic Offshore Farming». Halvt nedsenkbart offshore oppdrettsanlegg i stål	Troms/Finnmark
8	Hydra Salmon Company AS	2018/4/6	4 ライセンス (3,120 tonn)	Oppdrett i lukkede produksjonstanker	Sør-Trøndelag
9	Mariculture AS	2019/2/22	8 ライセンス (6,240 トン)	“Smart Fishfarm” – helhetlig løsning for åpent hav	Ikke oppgitt
10	Cermaq Norway AS	2019/3/1	4 ライセンス (3,120 トン)	«iFarm» – teknologi for individbasert oppdrett av fisk	Nordland
11	Mowi Norway AS	2019/4/5	2 ライセンス (1,100 トン)	“Marine Donut” heldekkende, lukkede enheter	Nordland

(出典：ノルウェー漁業局 HP)

Anne Osland 氏によれば、落選した理由はいくつかに分かれている。1つは、採択条件になっている「極めて革新的」と認められなかったものである。革新的ではあるものの、既存技術との差が明瞭でなかったものなどは、このような評価を受けて落選したらしい。落選組でも、我が国の研究開発成果と比較して、十分革新的と感ぜられるものが多いが、ノルウェー漁業局が開発ライセンスを与える条件は、更に上ということなのだろう。

また、「コンセプト自体は革新的だが、実現の可能性が低い」という観点から落とされたものもある。漁業局の審査は多数の専門家により実施されており、そういった人々から「危険」と判断されたケースである。特に、強度などの観点から安全性が疑問視されたプロジェクトなどが落選している。開発ライセンス制度に基づいて提案されているプロジェクトは、既存のものよりも大きな養殖生簀の建造が提案されていることが多い。万が一、巨大な養殖生簀で飼育されているアトランティックサーモンが、破損により逃避してしまうことになれば、環境に甚大な被害を与える。そういった安全性の観点から、漁業局の判断で落選したものがある、ということである。

中国の驚異的な技術開発

中国の国営企業の動向

ここまで、ノルウェーにおける最先端養殖技術の開発動向について述べたが、我が国にとってより悩ましい問題はここから先にある。それは、中国が同様の沖合養殖技術の開発に熱心に取り組んでおり、いくつかのプロジェクトが既に実証段階に移っている、ということである。

まず紹介したいのは、最も開発の進捗度が高いと思われる「深藍1号 (Deep Blue One)」プロジェクトである。このプロジェクトについては現地を調査する計画を立てていたものの、諸事情で調査が中止となってしまった。そのため、ここから先の情報は、各国の報道等から得られた情報から全体像を推測した

ものであり、記載した内容に誤りがある可能性も否定できないので、その点については、ご容赦願いたい。

このプロジェクトは、日照市と青島市の沖合 130 海里 (約 240km)^{注13} に、大型の沈降式のイケスを浮かべ、沖合養殖を行うプロジェクトである。この沖合養殖生簀は、高さ 38m、外周 180m、容積 50,000 立方メートルの大きさ^{注14} で、多角形の形状をしている。色も含めて、ノルウェーの Salmar 社が投入した Ocean Farm One とよく似ている。(リンク先^{注13、14、15} の画像をご確認いただきたい。)

それもそのはず、この養殖生簀の建造は武昌船舶重工集团有限公司であり、設計はその子会社である、湖北海洋工程装备研究院有限公司が行ったからである。つまり、Salmar 社の Ocean Farm One を建造したグループと同一のグループである。デザインについては若干の違いがあるものの、Ocean Farm One の製造で培われた技術やノウハウが“転用”されている可能性は高いだろう。デザインの違いという点では、Ocean Farm One では生簀の上に建屋があったが、この生簀には建屋が無い。これは、台風対策のためだと推察される。報道^{注15}によれば、中国の等級でいうと 12 級台風 (32.7-36.9m) に対応できる、ということのようだ。中国水産科学院の公式 HP^{注16}によれば、2018 年 7 月に中国を襲った台風 10 号 Ampil による、風力 10 級 (24.5-28.4)、波高 5.5m の状況に耐えたとのことである。もし事実であれば、その性能はカタログ上だけのスペックではなさそうである。

このプロジェクトには、現地の水産会社や上海海洋大学が関与しており、30 万尾のサケ科魚類を飼育しているとのことである^{注17}。中国の水産事情に詳しい関係者の意見では、中国は黄海に広がる冷水塊を活用することを悲願としているようで、そういった背景からサケ科魚類が選定されたのではないかと考えている。既にプロジェクトは、一定の成果を収めているようで、2019 年中には「深藍 2 号」の建造に着手するという報道がなされている。この“深藍 2 号”は、1 号よりもさらに大きいとのことで、直径 80m、最大高度 80.3m で建造が計画

されている^{注18}。

また別の動きとして、同じ国営造船企業である CIMC Raffles 社も養殖業に強い関心を抱いているようで、その子会社である CIMC Blue が 2019 年に「Long Whale」と呼ばれる、高さ 30.5m、6 万立方メートルの大型養殖イケスを立ち上げて、スズキやアイナメを飼育し始めていると報道されている^{注19}。CIMC Raffles 社と言えば、Nordlaks 社の Havfarm の建造を受注した企業である。Havfarm については現在同社で建造中とみられるが、Ocean Farm One 同様に、その建造で培われたノウハウが、将来中国の技術開発に転用される可能性は否定できないだろう。

このように、中国の国営大型造船企業が、沖合養殖技術を開発するため、大規模なプロジェクトを推進していることが、少しずつ報じられてきている。そして、いくつかのプロジェクトについては、ハードの設計・建造を完了して、魚を飼育する実証段階に移り始めているようだ。このスピード感は目覚ましく、我が国もその動向について情報収集を行い、対応策を検討しておくことが必要となるだろう。中国は隣国であるためその影響は大きく、1) 中国の大規模沖合養殖施設で生産される魚種は我が国の養殖魚種と被る可能性があり、国内外の市場で直接的に競合する可能性があること、2) 台風対策など温帯・熱帯域で必要となる技術の開発を中国が進めることで、今後、温帯・熱帯域の沖合養殖施設開発を中国が主導する可能性があること、3) 我が国の安全保障上重要な海域で、中国のみが「沖合養殖」の構造物を設置し、経済活動の実績を作りかねない、といった可能性が指摘できるだろう。

実際に現地調査をすることは叶わなかったもので、これのプロジェクトが国営企業の企業戦略に基づいて進められているのか、あるいは国策として進められているのか判断することは難しいが、仮に中国の国策として、このような沖合養殖技術の開発を進めているのであれば、展開される養殖ビジネス自体の採算性に多少難があっても、その技術開発自体は推進されていく可能性がある。

ノルウェーも、開発ライセンス制度を創設し、民間による大規模投資を可能

とすることで、イノベーションを起こそうとしており、これもまた「国策」と言える。非常に高いリスクがある技術開発を、純粋な民間投資のみに任せて行うことは難しいのだろう。このような大型の研究開発を進めていくかどうかは、国としての判断が必要な領域である。

おわりに

本書では、ノルウェーの養殖技術の「現在の到達点」「将来の到達点」という2つの観点から、それぞれ最新の事情について紹介させていただいた。最後に本書を締めくくるにあたり、ノルウェーの養殖産業を調査した上で感じたノルウェー養殖産業の研究開発における特徴をいくつか挙げてみたい。

① 「規模の経済」という明確な方向性

ノルウェーの養殖業の競争力の源泉は、第1に「規模の経済」の追求とそのための技術開発にあると考えている。1970年代には小さかったノルウェーの養殖産業は、大型化に舵を切って、飛躍的な成長を遂げた。この転換で、いかに規格化された製品を、いかに大量かつ低コストで生産するかという思想に基づいて、技術・制度・産業構造が確立してきたのではないかと考えている。大型化する生簀の中身を確認するため、カメラ・センサーの開発が進み、大量の魚に大量の餌を効果的に給餌するため自動給餌システムが確立した。さらに、養殖に関する標準規格の策定、生産とサポートの分業化など、ノルウェーの養殖業が規模の経済に基づき遂げてきた変化を挙げればきりがないだろう。加工流通の部分まで含めれば、さらに多くの点で同様のことが指摘できるのではないだろうか。また、養殖魚の数が増大することによって生まれた環境リスク（サケジラミ・逃避）に対する技術開発も、「規模の経済」への対応という文脈で説明できる。また、本書で解説した沖合養殖技術開発も、技術やアイデアは革新的だが、その方向性は「規模の経済」の延長線上にある。

我が国の養殖産業を鑑みると、「地域性」「多様性」「独自性」といった地域産業としての思想と、「大規模化」「標準化」「コモディティ化」というグローバルのトレンドとがぶつかり合い、産業全体の方向性を定めづらい状況に見える。開発されている技術も方向性が多様でバラついているような印象もある。（もっとも、これは、何も養殖分野だけではなく、我が国の水産業全体におけ

る研究開発にも共通する話ではないかと思う。)

一方で、国際競争の観点から見ると、ノルウェーや中国が「規模の経済」を追求し大規模な技術開発を進めているという現実がそこにある。我が国の限りある研究開発のリソースをどう配分するか、舵取りが難しい。

② 「アトランティックサーモン」という種としての軸

ノルウェーにおいて「規模の経済」という技術開発の方向性と同様に、研究開発の軸となっているとみられるのは「アトランティックサーモン」という「種」である。AKVA社の取り組みから推察するとノルウェーの養殖技術は「アトランティックサーモン」を中心として技術開発を行い、それを他魚種や他国に横展開している、というのが私の理解である。ポイントは、魚種や地域ごとのニーズばかりに対応するのではなく、まず「アトランティックサーモン」で技術を確立し、その技術が適用可能なマーケットを開拓していく形で横展開を進めているという点である。我が国は養殖対象種や生産地が多様であるが故に、研究開発のリソースが分散されやすいと傾向にあり、また、現場の意見やニーズにできる限り対応しようとしすぎるため、かえって横展開を進めにくいのではないかというのが筆者の考えである。

③ 情報共有や人材交流に積極的

AKVA社を訪問した際に、「業界内での人的交流は当たり前のもので、情報は共有されるものだ」「パテントに固執し守ろうとするよりも、次のパテントを開発することにエネルギーを注ぎたい」「(ノルウェーの)業界全体で儲けることが重要だ」と同社幹部が発言していたことが印象に残っている。

この点は、過去の研究の中でも感じたことであるが、ノルウェーの水産業はもともと国内市場が小さく、海外市場ありきで成立してきた歴史があるためか、世界市場を拡大するという共通の目的を達成するためには、国内で情報やノウハウをできる限りで共有し、一体的に行動していくことが合理的だという思想

が、業界内で共有されているような印象を受ける。

我が国の養殖業でも、「輸出」という方向性として打ち出されているものの、業界関係者の思想まで共有されているかは分からない。根本的な価値観の違いは、すぐに切り替わるものとは思えないが、国内市場が縮小する状況下で輸出の比重を高めていくのであれば、業界全体での意識転換も必要なのかもしれない。

ノルウェーと日本の養殖業では、技術開発における「思想」や「考え方」に全く異なる部分があり、そこがノルウェーの強さの源泉になっているように感じている。その点に触れず「技術」「システム」という末端だけを見て議論をすることは本質を外してしまうのではないか。ノルウェーの水産業を知ると、日本の水産業やその技術開発の「当たり前」が、当たり前ではないことを実感する時がある。2019年春の異動で、私は研究開発業務から外れてしまったが、今後も機会があれば、同国の研究開発や技術開発を勉強し、良い点は我が国の研究開発に還元していきたいと考えている。

報道引用先：

注1：

例えば、以下のような報道がある。

1. Ocean Farm 1について6基で3億米ドル支払ったとする報道、

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-07-30/this-300-million-deepwater-platform-houses-1-5-million-salmon>

2. Havfarm プロジェクトについて、全体で4.66億米ドルから5.83億米ドルのコストがかかるとする報道

<https://www.undercurrentnews.com/2019/07/03/nordlaks-targets-first-operational-havfarm-for-2020-after-algal-bloom-hits-harvest/>

3. Smart Fish Farm プロジェクトについて1.93億米ドルかかると推計されるとする報道

<https://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/salmar-invests-in-deepwater-mariculture-group-with-aims-of-producing-salmon-offshore>

注2：

出典：Salmarの2018年度レポート、OceanFarm1の第1世代は2019年1月に完全に取り上げたと記載されている。

<http://hugin.info/138695/R/2242726/885263.pdf>

注3：

諸元の出典はSalmarのホームページ

<https://www.salmar.no/en/offshore-fish-farming-a-new-era/>

注4：

150万匹という数字は各所で報道されているとともに、建造に加わったKongsberg Maritime社のHPなどでも記載されている。

<https://salmonbusiness.com/smart-fish-farm-to-dwarf-ocean-farm-1-salmar/>

<https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/our-stories/offshore-fish-farming-food-for-thought/>

注 5:

出 典 : <https://www.intrafish.com/aquaculture/norway-approves-permits-for-salmars-offshore-smart-farm/2-1-508162>

注 6:

Norlads 社ホームページより

<https://www.nordlaks.no/havfarm/havfarm1>

注 7:

<https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/27-08-2018-rr-to-deliver-technology-for-innovative-ocean-fish-farm-and-live-fish-carrier.aspx>

注 8:

<https://www.undercurrentnews.com/2019/02/28/siemens-to-deliver-power-supply-to-nordlaks-havfarm-project/>

注 9:

<https://www.worldfishing.net/news101/fish-farming/cimc-raffles-to-build-430m-nordlaks-vessel>

注 10:

<https://www.undercurrentnews.com/2019/01/04/hyundai-studies-nordlaks-havfarm-model-as-it-considers-entry-into-aquaculture/>

注 11:

<https://www.fishfarmingexpert.com/article/marine-harvest-ready-to-hatch-egg-by-2019/>

注 12:

<https://www.youtube.com/watch?v=JsGPwjEieio>

注 13:

出典：下記リンク先の動画を参照のこと

<http://sd.iqilu.com/v6/share/article/4732165>

注 14:

出典：<http://sd.sina.com.cn/news/2019-03-08/detail-ihsxncvh0933138.shtml>

注 15:

出典：http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/html/2018-05/12/content_1853995.htm

注 16:

<http://www.cafs.ac.cn/info/1052/30126.htm>

注 17:

<http://sd.iqilu.com/v6/share/article/4820652>

注 18:

<http://www.wanzefeng.com/news/zxxw/134.html>

注 19:

<https://www.undercurrentnews.com/2019/05/01/large-chinese-shipbuilder-launches-offshore-pen/>

<https://www.youtube.com/watch?v=zZ8YhbWPCWU>

2020年2月発行（非売品）

「水産振興」 第620号

編集兼発行人 渥美雅也

発行所 〒104-0055 東京都中央区豊海町5-1

豊海センタービル7階

電話 (03) 3533-8111

FAX (03) 3533-8116

一般財団法人 東京水産振興会

印刷所 株式会社 創基

（本稿記事の無断転載を禁じます）

ご意見・ご感想をホームページよりお寄せ下さい。

URL <http://www.suisan-shinkou.or.jp/>

二〇二〇年二月発行 六一〇号 (第五十四卷 第一号)