HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ホタテガイ養殖業の機械化に関する生産管理学的研究
Author(s)	濱田, 武士
Citation	MEMOIRS OF THE FACULTY OF FISHERIES HOKKAIDO UNIVERSITY, 47(1), 1-71
Issue Date	2000-05
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21934
Type	bulletin (article)
File Information	47(1)_P1-71.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

ホタテガイ養殖業の機械化に関する生産管理学的研究[1)]

濱田　武士[2)]

A Study on the Mechanization of Scallop Farming from the Perspectives of Industrial Engineering[1)]

Takeshi HAMADA

目　　次

Abstract …… 3
1. 緒論 …… 4
1-1. 省力化に関する施策…… 4
1-2. 漁労技術の省力化研究と I.E. の適用 …… 4
1-3. 研究の構成…… 5
1-4. 本論文で用いた記号…… 6
2. ホタテガイ養殖労働の現状と機械導入に関する問題 …… 8
2-1. 養殖経営の大規模化と問題点…… 8
2-2. 養殖労働の現状 ……11
2-3. 機械・設備の導入過程 ……17
2-4. 考察 ……20
3. ラインバランシングによる分散・耳吊り作業の効率評価 ……22
3-1. ラインバランシングと編成効率 ……22
3-2. 工程分析と作業要素時間の標準化 ……25
3-3. 作業システムの評価結果 ……27
3-4. 考察 ……28
4. 作業システムの作業者と機械設備の最適配分法 ……30
4-1. 作業システムの評価方法 ……30
4-2. 生産パラメータの計測と設定 ……34
4-3. 結果と考察 ……35
5. 機械化の採算性評価 ……38
5-1. 機械化作業システムの編成 ……39
5-2. 機械化作業システムの経費節減効果の分析 ……44
5-3. 考察 ……49
6. 機械化の成立条件 ……51
6-1. 分析対象作業の現状 ……51
6-2. 機械化の前提条件と分析方法 ……53
6-3. 機械化の成立条件の検討 ……56
6-4. 考察 ……60
7. 総合考察 ……62
7-1. 本研究の成果 ……62
7-2. ホタテガイ養殖業の機械化に関する展望 ……63

---

1) 北海道大学審査学位論文 (1999)
2) 日本学術振興会特別研究員 (*Research fellow of Japan society for the promotion of science*)

7-3. 省力化研究における I.E. の重要性 ……64
8. 摘要 ……66
9. 謝辞 ……68
10. 参考文献 ……69

Abstract

Japanese scallop aquaculture productivity has become dramatically higher along with the progress in its production techniques. However, in terms of the aquaculture business management, the profit rate has dropped into a very low level. In order to improve this situation, scallop farmers are recently trying to automate the ear-hanging work, which has been in the lowest labor productivity category compared to any other processes.

This paper describes a theory on the mechanization of the scallop farming based on the industrial engineering method. This theory consists of the following decision-making methods and analysis models.

1. The decision-making of the optimum efficiency work system by applying the line-balancing method to the ear-hanging work.
2. The decision-making of the optimum cost-efficiency balance between the machinery and manual labor in the ear-hanging work.
3. The analysis model for estimating the cost effectiveness of the mechanization of the ear-hanging work.
4. The analysis of the conditions of the mechanization, which enable the cost reduction by applying the "operating-inferiority" concept of MAPI (Machinery and Allied Products Institute).

Results of the numerical analysis show a model of the optimal work system and necessary conditions of the mechanization for improving the profit rate in the scallop farming.

Key words: Scallop aquaculture, Mechanization, Industrial engineering, Time study, Work system, Ecnomic evaluation, Production cost reduction

1. 緒　　論

1-1. 省力化に関する施策

我が国の重点的に取り組むべき漁業振興施策の一つに，『漁業就業者の減少・高齢化に対応するための省力化技術の開発及び魚価安による経営危機を克服するための低コスト化技術の開発（農林統計協会，1995)』が挙げられている。しかし，今日までの漁業・養殖業の生産技術の発展は漁獲性能の向上をもたらし生産性を高めてきたものの，その一方で漁獲対象資源の減少・過剰装備・過密養殖等の問題を派生させ，必ずしも漁業経営の改善に直結しなかったことも指摘されている。

このような状況を受けて近年では，『省力化・低コスト化技術開発には，従来のハード面のみならず，経営管理や資源管理の手法といったソフト面についても推進していくことが重要であるほか，開発された個別の技術を現場に適用する際に，漁業種類，対象魚種，地域特性，経営規模等に配慮しながら個々の経営体にとって最適な技術体系として複合的かつ総合的に構築していくことが肝要である（農林統計協会，1995)』と提言されるようになった。

以上の視点で省力化技術の導入を合理的に押し進めるためには，生産活動を体系的に捉え分析・改善していくことが可能な生産管理技法 Industrial Engineering (I.E.) の概念（日科技連 IE 研究会編，1979）を用いて漁業技術の導入手法論を新たに構築していく必要がある。

1-2. 漁労技術の省力化研究と I.E. の適用

I.E. とは，「物の流れ」・「人の動き」・「機械設備の配置や能力」を一貫した技術体系の中で捉えて生産工程や作業時間を分析する作業研究 Work Study（並木ら，1970），設備投資や在庫調整などの管理戦略を数理的に考究する経営工学 Management Engineering（高城，1973），統計的手法を用いて不良品の発生原因や製品のバラツキの原因を分析・究明する品質管理 Quality Control（石川，1989），市場ニーズを満たしかつ経済的に最適な製品開発のプロセスを選定する価値工学 Value Engineering（倉林ら，1984）など，生産活動のあらゆる効率化策又は経済的運営策を得るために開発された種々の実践的管理手法を示している。元来，I.E. は製造業や鉱工業などの工場生産の合理化・効率化に利用されて発展したが，農林業などの省力化又は機械化研究（川延，1966；岡村，1991）においても利用されており，それぞれの分野の経営と技術の特性を捉えた管理手法として発展を遂げている。

一方，水産業においては 1960 年から 1970 年代初頭に，漁船労働力不足に直面した沖合・遠洋漁業において経営改善を目的に省力化研究（北海道いか釣漁業協議会，1969；さんま棒受網漁船研究会，1970；猿谷ら，1964a, 1964b；佐藤，1964）が盛んに行われたが，実質的に I.E. 手法を適用した省力化研究はカツオ・マグロ漁業の省力化研究の例（かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究会，1965, 1966a, 1966b, 1966c, 1966d, 1966e, 1966f）にしか見受けられない。当該漁業の操業は複数の作業者と工程によって複雑に構成されているが，徹底した工程分析と時間分析により新型漁労装置の導入による合理的な作業システムの提案と当該漁業技術の総合的な改善に成功している。また省力化技術の開発を目的としてはいないが，母船式手繰り網漁業の船団操業の管理方策を考究した前田らの研究（1969a, 1969b, 1969c, 1970a, 1970b, 1970c, 1971）も I.E. 概念の漁業技術への適用として秀逸である。この一連の研究においても，作業分析によって操業管理の効率化が初めて可能となることが示唆されている。さらにイカ釣り漁業の技術と労働の変遷や現状を捉えた研究（三輪，1998）においても工程分析の手法が有効に用いられ，複雑な労働力

編成の変化を明らかにしている。以上の事例では，漁業技術の省力化研究だけでなく漁船労働の評価におけるI.E.の有効性が実証されている。また，企業化した漁船漁業だけでなく定置漁業や養殖業においてもI.E.を用いた同様の試み (浜田，1996a, 1996b, 1997；濱田ら，1999；三輪，1996；山下ら，1995, 1996；Yamashita et al：1995) が行われている。

しかし，これらの漁業研究におけるI.E.の適用段階は生産活動の基本的分析手段である工程分析と時間分析で止まっており，漁業生産の総合的最適化に寄与できるまでに深化しておらず，その成果は漁船・漁具・漁業機械といった個別技術の開発支援にしか直接的に結びつかなかったと考えられる。今日求められている漁業生産の省力化においては，単一的な技術開発だけでなく複合的目的性を満たさなければならず，漁業経営の改善に寄与し得る省力化技術の開発と基本的概念の提出が求められている。また，生産現場の省力化で求められている事柄には諸作業の効率化はいうまでもなく，各種生産手段の経済的最適化，及び消費ニーズに即応した「商品」としての品質を保たせることなども含まれる。このような条件を満たすためには，これまでの工程分析や時間分析といったI.E.の基本的手法の適用段階を越えて，I.E.が目的とする広範な生産に関する領域へこの概念を拡大していく試みが必要であると考える。

I.E.手法は自動車や家電などの製造業のように計画生産や生産物の計数管理を徹底する生産活動に特に有効である。本論文では，このような生産特性を実施できるホタテガイ養殖業を対象として，I.E.の概念と手法を適用しつつ，低コスト化技術に関する理論と評価法を構成し，最終的に近年進められようとしている機械化に対する指針を考察する。

1-3. 研究の構成

いかなる生産活動においても，生産コストの削減対策を考える場合，経営の現状を把握し現行技術体系の特徴を俯瞰する必要がある。第2章では，ホタテガイ養殖業の特徴が，養殖設備・漁船の大型化やあらゆる養殖作業の機械化が進められたことであったにもかかわらず，その経営形態が「雇用依存型家族経営」から進展していないことを，養殖作業や機械類の実地調査と文献調査から整理した。特に機械化に関しては，全自動機械の導入によって生産性を飛躍的に向上させたノリ養殖業とは異なり，その技術史的発展過程が『労働過程の部分的省力化であり大きな労働生産性の向上がなされなかった (宮澤，1981)』傾向にあると考えられてきた。そこで調査で得られた内容からホタテガイ養殖業の機械類に関する問題点を再整理し，最後に機械化に際して考慮すべき要件について考察した。特に第2章においては養殖工程中圧倒的に労働力配分が偏っている「分散・耳吊り作業」についての機械化方針を提案した。

第3章では，「分散・耳吊り作業」の効率化を図るため，従来から工場型の組立て生産ラインで扱われているラインバランシングの概念 (Ignall, 1965；Mansoor, 1964；Freeman and Jucker, 1967；Salveson, 1955；大場，1995；Helgeson and Birnie, 1961) を用いて分析を行い，現状の生産技術を用いた場合に生産効率を最大化することのできる作業システムについて考究した。

第4章では，第3章の方法では評価できない経済的最適化問題を取上げ，コストが最小となる作業者配置と機械設備配分数の決定のために新たな評価尺度を提案した。次いでこれを用いて，前章で導かれた複数の作業システムの評価が可能であることを示した。特に，この尺度が経済性と作業効率を同時的に満足すること，及び工場生産システムに対する既存研究 (Sharker and Shanthikumar, 1983；Pinto, 1975, 1981) で用いられる尺度との比較において，当該作業や漁業生産システム全般を評価する上で有利な特徴を持つことを論じた。

第5章では，近年省人化を目的に開発された「自動耳吊り機」の採算性評価を試みた。第3章，第4章

の成果を参考にして機械化作業システムの合理的決定法を提案し，機械投入台数や生産スケジュールなどの違いによる経費節減効果の分析を行い，当該養殖業の採算性向上のためには操業期間や機械の耐用年数が重要な要因となっていることを考察した。

第6章では，前章で考察した機械稼働量，機械使用年には制約があることを条件に付加して機械化の採算性評価を深化させた。はじめに制約条件を機械化採算性の評価に取り入れるため，経済的設備更新期を導く MAPI (Machinery and Allied Products Institute) 法 (Terbough, 1949; 清水, 1962) を用いて，機械の劣化と機械化による低コスト化が可能な経営規模及び機械稼働量の関係を理論的に導き，機械化の成立条件を考究した。次に機械化が必ず成立する条件と大規模経営体においても機械化が不成立になる条件があることを明示した上で，機械化に際する養殖経営の設備管理の重要性について考察した。

第7章では，以上の内容を取りまとめてホタテガイ養殖業における機械化の展望と課題，漁業の省力化研究における I.E. の重要性について考察を行った。

1-4. 本論文で用いた記号

WE_i		i 作業要素
ST_k		k ステーション
t_i	s/shell	i 作業要素時間
τ	s/shell	サイクルタイム
d_k	s/shell	k ステーションの遊休時間
D	s/shell	遊休時間の総和
γ	s/shell	作業要素時間の総和
E	%	編成効率
α_k	s/shell	k ステーションに複数作業者を配置した場合の単位処理時間
m_k		k ステーションの作業者数
U_{labor}	yen/shell	単位生産労務費
U_{facility}	yen/shell	単位生産機械設備費
U_{total}	yen/shell	単位生産労務費と機械設備費の和
h_{man}	yen/time	雇用者への時間給
mc_i		i 作業要素の機械台数
P_i	yen	i 作業要素もしくは i 機械の取得価格
UL_i	year	i 機械の法定耐用年数
SV_i	yen	i 機械の残存価格
Q	shell/year	年間計画生産量，生産規模，全処理量
T	hour	計画生産時間，全処理時間，全稼働時間
τ_{plan}	s/shell	計画サイクルタイム
Ma	yen	機械化に伴う支出経費増加額
Ml	yen	機械化に伴う損失額
Ls	yen	機械化に伴う雇用費支出節約額
S	yen	生産手段の節約額
Em	yen	生産規模拡大に伴う増収額

t_{labor}	s/shell	テグス通し作業の標準時間
m_{labor}		テグス通し作業の作業者数
m_{family}		家族作業者数，穿孔作業者数
t_{pearl}	s/shell	取り出し作業の標準時間
$t_{\text{selection}}$	s/shell	選別作業の標準作業時間
t_{drill}	s/shell	穿孔作業の標準作業時間
q_{labor}	shell	自動耳吊り機導入後の雇用者が行うテグス通し作業の処理量
Q_{ear}	shell	自動耳吊り機の処理量（6章では q）
t_{ear}	s/shell	自動耳吊り機の標準作業時間
m_{ear}		自動耳吊り機購入台数
ΔC	yen	機械化前後の作業システムの年価差額
$C_{\text{depreciation}}$	yen	機械償却費の年価差額
$C_{\text{maintenance}}$	yen	機械維持費の年価差額
C_{run}	yen	運転費の年価差額
C_{material}	yen	資材費の年価差額
C_{labor}	yen	雇用費の年価差額
h_{labor}	yen/shell	単位（貝一枚当たりの）雇用費用
P_{ear}	yen	自動耳吊り機の取得価格（6章では P）
n_{ear}	year	自動耳吊り機購入のための資金償還期間
J	%	利率
m_{drill}		自動耳吊り機導入後の必要穿孔機台数
ε	%	設備付帯費率
b_{labor}	yen/shell	単位（貝一枚当たりの）テグス費用
b_{ear}	yen/shell	自動耳吊り機で用いる単位テグス費用
r_{drill}	kW	穿孔機械の消費電力
r_{ear}	kW	自動耳吊り機の消費電力
E	yen/kWh	電力単価
G	yen	稼働劣性度
$U(n)$	yen	アドバースアベレージ
$V(g)$	yen	稼働劣性度を説明変数としたアドバースミニマムの関数
S_n	yen	n 年目の機械維持費
$\bar{S}$	yen	年平均機械維持費
n_g^*	year	経済的耐用年数
$q_{\min}(g)$	shell	経費節減が可能な必要処理量
$rt_{\min}(g)$	hour	経費節減が可能な必要処理時間
$T_{\max}$	hour	作業適期期間に確保可能な機械稼働時間（最大機械稼働時間）
Q_1	shell	任意の漁家の生産規模
$g_{\max}$	yen	自動耳吊り機の稼働劣性度の上限値
$g_{\min}$	yen	自動耳吊り機の稼働劣性度の下限値

2. ホタテガイ養殖労働の現状と機械導入に関する問題点

養殖業における省力化又は低コスト化を進める場合，生産活動の経済的な側面や技術的な側面を俯瞰する必要がある。特にホタテガイ養殖業の機械化は『労働過程の部分的省力化であり大きな労働生産性の向上がなされなかった（宮澤，1981)』と指摘されており，この問題点に関しては詳しく分析してみる必要がある。

本章では，1993～1998年に実施した漁家調査と刊行されている漁獲統計資料・文献を用いて，ホタテガイ養殖業の大規模経営の現状と問題点についてふれつつ，養殖労働の現状と機械類の発展について概観する。また，生産規模の拡大が顕著な北海道噴火湾地区と青森県陸奥湾地区に限って分析をすすめ，規模拡大が生産技術にどのような変遷をもたらしたかを示す。そして最後に生産技術発展上の作業や機械類導入の問題点をまとめ，今後の機械化の対策について考察した。なお，ホタテガイ養殖業における実態記述については多くの文献（Hardy, 1991；茶碗谷, 1985, 1992；伊藤ら, 1986；宮澤ら, 1992, 1994；水島，1994；境，1962, 1976, 1979, 1980；鈴木，1980；上田，1996）を引用したが，一般化してきた当該養殖業の現状評価に関しては特に必要のない限り引用の指示を付さなかった。

2-1. 養殖経営の大規模化と問題点

ホタテガイ養殖業は，1960年代の天然採苗技術の開発から作り育てる漁業として成功を納め順調に生産量を拡大してきたが，1970年代の養殖規模拡大過程において三陸，陸奥湾，噴火湾，サロマ湖といった養殖主産地で順次異常へい死が発生し，各地で増産前の水準まで水揚げが低下する結果となった。しかし，その後，生産量は飛躍的に伸びて，1993年度にはカキ類養殖業を抜き，国内最大生産量を誇る貝類養殖業に発展した。その生産量の伸びは1985年の10.9万トンから1995年の22.4万トンと，10年間で倍増したほどである。

Fig. 1とFig. 2に1995年の地域別生産量・経営体数と生産量の経年変化を表したが，これらの図から北海道噴火湾と青森県陸奥湾の2海域では宮城県や岩手県の三陸海域と比較して増産傾向が特に顕著であり，その全国生産量のシェアが8割以上となっていることが判る。これらの2海域では，狭隘な三陸養殖漁場とは異なり，広大な海域をもつ地理的有利性から養殖漁場の沖合化と拡大化が進み，1975年(陸奥湾）と1978年（噴火湾）の大量へい死以前には内湾全域が養殖漁場に塗り尽されるほど巨大養殖地帯となっていた。その後，両地区では一時大量へい死によって生産量は減じたものの，近年の生産量は大量へい死前の量を遥かに上回るようになった。その要因として次の項目が挙げられている。

・耳吊り養殖方式による漁場の高密度利用

1980年代初頭にかけて養殖形態を「かご方式」から，養殖漁場面積当たりの生産性が高い「耳吊り方式」へ転換することによって漁場の高密度利用が可能となった。

・養殖サイクルの短縮化に伴う施設の利用効率向上

特に噴火湾では従来のかご方式では3年貝出荷が主体であったが，耳吊り方式の転換に伴い2年貝出荷が主流となった。そのことによって養殖サイクルが短縮化し，養殖施設区画が3区画から2区画に減り，1区画分の施設規模が増加したことになる。

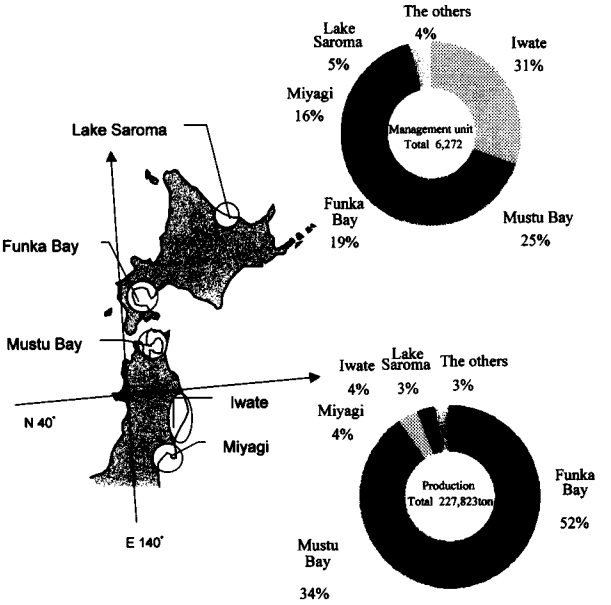


Fig. 1. Yield of scallop aquaculture and the number of management unit in Japan in 1995.
Source : Statistics on the Fishery and Water Culture Production (1995), Ministy of Agriculture, Forestry and Fishries (MAFF).

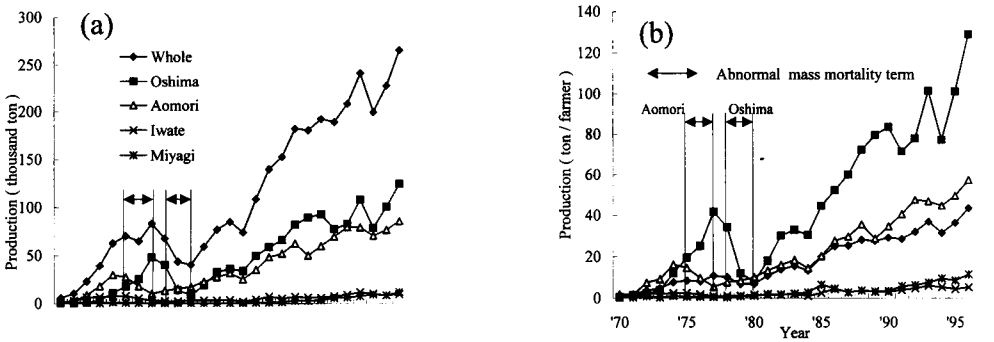


Fig. 2. Yearly change of the yield of Japanese scallop aquaculture.
(a) : Total production, (b) : Unit production to a scallop farmer.
Source : Statistics on the Fishery and Water Culture Production (1970-1996), MAFF.

・生産設備の発展と大型化

規模拡大に必要な機械化や設備の大型化などの投資がかご方式からさらに進行して大量生産技術が確立した。

しかし，生産量に対するホタテガイの平均単価の動向を表した Fig. 3 が示しているように，噴火湾渡島地区ではホタテガイの平均単価は増産に伴い急速に低下し，また，1 経営体当たりの平均生産量に対する平均水揚げ額の動向を表した Fig. 4 が示すように 1989 年以後は増産による増収効果がマイナスにな

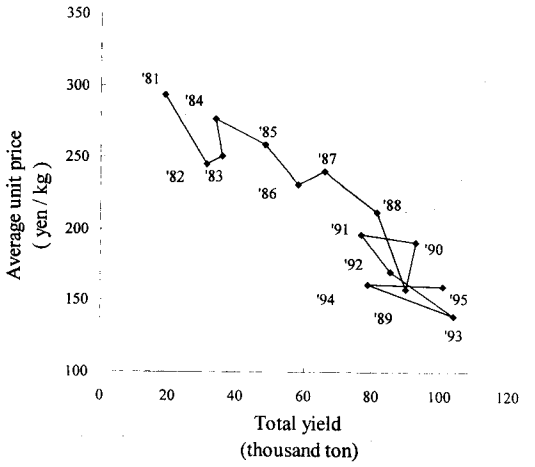


Fig. 3. Yearly change of the scallop price and yield in Oshima region of Funka Bay.
Source: Statistics on the Fishery and Water Culture Production (1981-1995), MAFF.

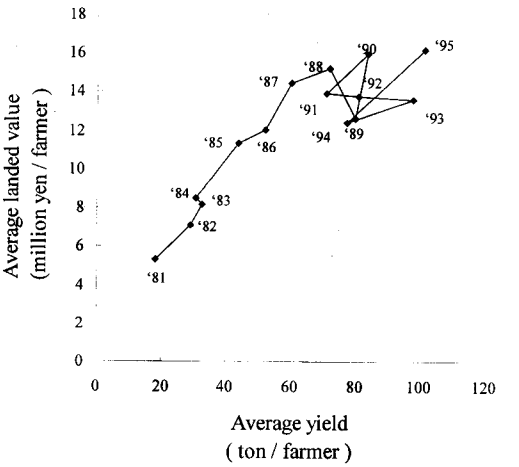


Fig. 4. Yearly change of the average landed valve and average yield.
Source: Report on Fishery Economy —Fishery Household— (1981-1996), MAFF.

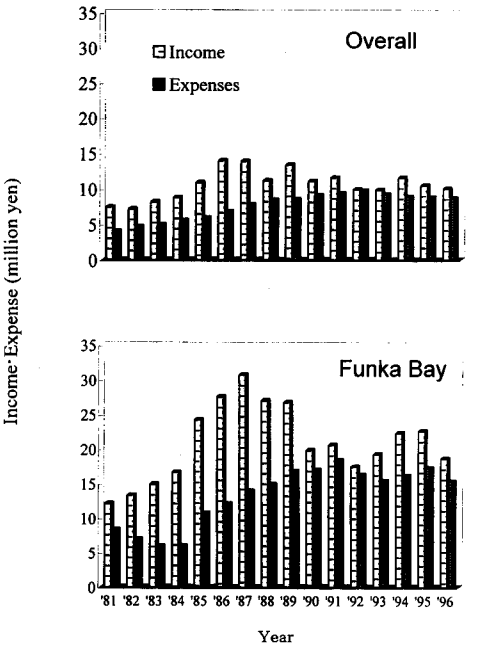


Fig. 5. Yearly change of expenditure to a scallop farmer.
Source: Report on Fishery Economy —Fishery Household— (1981-1996), MAFF.

ることもあった。そのため，養殖経営の収支状況は，Fig. 5 に見られるように，1990 年代に入り著しく悪化している。この状況はホタテガイ単価の低迷に伴う粗収入の低下だけでなく養殖経営の低コスト化が進まなかったことにも起因している。1980 年代に構築されてきた大量生産技術はホタテガイ単価の低

迷に対抗し得るほどの生産原価の節減化をもたらさなかったと評価されよう。実際に平成9年度の漁業白書（農林統計協会, 1998）においては，この現状を家族労賃も加えると原価割れしているとまで評価しており，大規模化による養殖経営の悪化は生産技術上の問題として考えなくてはならない段階に達していると考えられている。

このように当該養殖業の大規模化は，支出よりも収益の上昇が期待できた1985年代までは有効であったものの，生産原価の低減が図られていなかったためホタテガイ単価の低落によってそのメリットは失われつつある。また，大量へい死時より単位面積当たりの収穫量が遥かに多いため，「養殖漁場の環境収容量の問題」としても常々指摘されている。近年では，生産者団体による生産調整の協議（例えば噴火湾西部ホタテ流通対策協議会）が行われるようになっているが，生産量を縮小するにしてもホタテガイ単価の低迷と生産原価が改善されなければ，養殖経営は現今の厳しい状況からは抜け出せないと考えられる。収益性を回復させるためには生産原価を大幅に低減できる生産技術に再編成することが生産技術上の最重要課題となっている。

2-2. 養殖労働の現状

(1) 耳吊り養殖形態への転換に伴う養殖作業の変化

「耳吊り養殖」は，もともと真珠貝養殖で発展した一養殖形態であったが，ホタテガイ養殖の主力生産方式となる1980年初頭までに，実用化が可能な段階に達していた。この養殖形態では，中間育成までは従来のかご方式と同じようにFig. 6に示す養殖かごを用いた育成が行われる。一方，本養成においては中間育成した稚貝の耳状突起部を直径1.4～2.0 mmの電動ドリル（穿孔機）で開孔し，開孔部に化繊ロープ（養成綱）に挟み込んだテグスを通して，10 m前後の養殖綱に稚貝を約100段に渡って吊す状態にして育成が行われる。耳吊りに仕立て上げられた状態はFig. 7の(a)のようになるが，近年ではこの形態以外に，耳吊り仕立て作業（以下，テグス通し作業）の軽減を目的に，(b)に示すループコードを取り

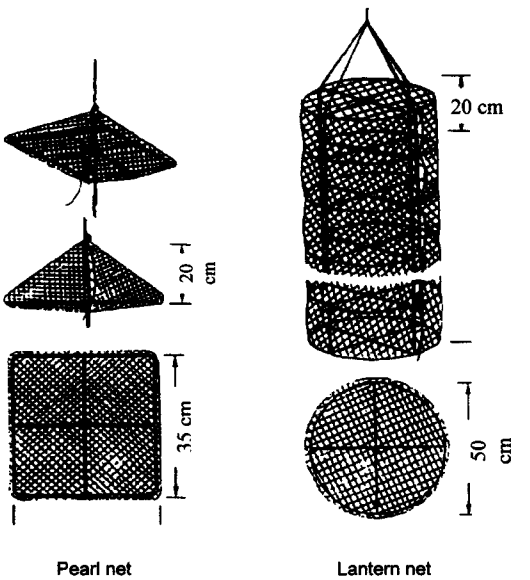


Fig. 6. Typical nets for intervening culture.

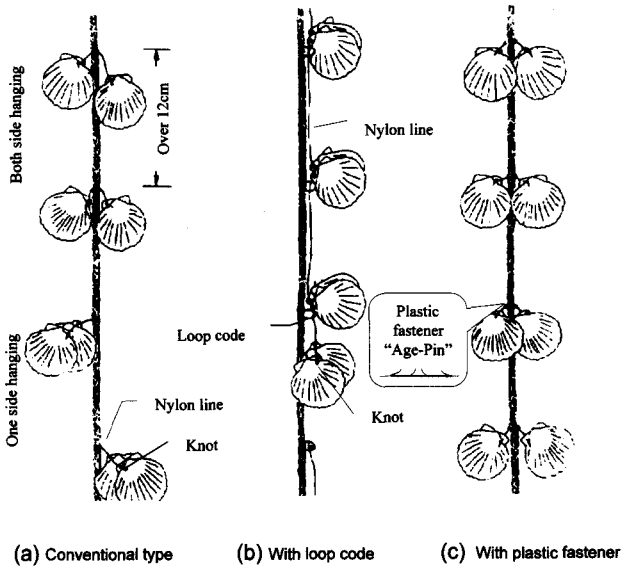


Fig. 7. Typical mehtods of ear-hanging.

付けた養成綱や，(c) に示すアゲピンと呼ばれる貝の取り付け資材も用いられるようになった。しかし，穿孔方法が悪いと穿孔した貝の耳状突起部に奇形や変形が生じやすく，その後の成長に悪影響を及ぼすことが養殖試験によって明らかとなっている (今井，1971)。

従来のかご養殖方式から耳吊り方式への転換は，漁業資材の廉価化，海面当たりの収穫増，出荷時作業の労働負荷低減といった利点を持っていたために進展したと指摘されている (宮澤ら，1992, 1994)。特に噴火湾でこの転換を促したのは，耳吊り方式が 1978 年の貝毒発生以来規制された出荷期間に大量の貝を集中出荷できること，さらに冷凍ボイルをはじめとする加工向けの 2 年貝需要が高まったこと (上田，1996) に求めることができる。

一方，耳吊り方式は貝を 1 枚 1 枚穿孔して次に耳吊り状態にする処理工程 (以下，テグス通し作業) が必要である。このため，計量カップを用いてホタテガイを養殖かごに分散・入れ替するかご養殖方式の作業と比較して手間と人手がかかるようになり，大量の貝を特定短期間内に仕立て上げるためには多くの雇用者が必要となった。この作業の効率化対策については第 3 章，第 4 章で分析するが，作業効率を向上させるため前駆作業の選別作業なども含め，これらの作業は一貫した流れ作業で行われるようになっている。

(2) 養殖スケジュールの変遷

耳吊り養殖方式の作業工程は，Table 1 が示しているように「採苗作業 (6 月～7 月)」→「1 次分散 (8 月～9 月)」→「分散・耳吊り作業 (3 月～5 月)」→「出荷 (北海道では 12 月～3 月，青森では周年)」に分類できる。

生産規模が拡大するに従って，これらの養殖工程の各作業量は増加したと考えられる。しかし，各工程の投下労働量は大きく異なっている。Fig. 8 は噴火湾鹿部町と森町及び陸奥湾横浜町における平均的な養殖漁家の養殖作業の投下労働量を 1997 年度に行った調査に基づいて表したものである。分散・耳吊り作業だけに多くの投下労働量の突出がみられるが，これは当該作業工程の穿孔作業とテグス通し作業

Table 1. Schedule of scallop farming in Funka Bay.

June	↕	Setting seed collectors
July	↕	Harvesting seeds
August		
September	↕	First thinning
October		
November		Intervening culture process
December		
January		
February		
March		
April	↕	Thinning and ear hanging
May		
June		
July		
August		Main culture process
September		
October		
November		
December	↕	
January		Harvesting
February		
March		

が，一括処理できる他工程の作業とは異なり，前述したような手作業による個別処理が必要とされているからである。その処理枚数は鹿部町，森町，横浜町の漁家でそれぞれ年間約150万枚，約300万枚，約80万枚にも及んでいた。また，当該作業期の雇用投下量も他の養殖工程に比べて圧倒的に多くなっている。この傾向は，短期間に大量のホタテガイを処理するために，テグス通し作業の雇用者を増員したからと考えられる。耳吊り養殖形態の水揚げ量はテグス通し作業の処理量によって変わる。そのため，増産傾向を強めた近年では，当該作業への雇用投下は膨大となり，生産経費に占める雇用経費の割合は総支出経費と共に比例的に増加する結果となっている。Fig. 9にその傾向を表した。

一方，噴火湾海域では貝毒の発生により出荷時期が冬期から春期に規制されているが，生産規模の拡大に伴い出荷作業が次のように変化している。1980～1995年までの月別出荷量を示したFig. 10によれば1, 2月期の出荷量の増加傾向は1985年で止まっているのに対し，3, 4月期の春期出荷量は1985年以降も伸びて，1988年には3, 4月期の出荷量が1, 2月期の出荷量を上回っている。さらに1990年以降は5月期の出荷の増加も確認できることから，近年では春期の出荷作業量が増大している。この影響により春期の養殖スケジュールはFig. 11に示すように年次を追って変遷している。特に3, 4月期は「分散・耳吊り作業」を開始する必要があるため，近年では1日に両作業を行う漁家が多くなっている。両作業を行う場合，1日の作業スケジュールがTable 2に示すように過密になっており，養殖漁家の労働時間が15時間にも及んでいることが調査によって得られた。

このような長時間労働をしてまでも出荷期を遅らせる原因は近年の取扱量の増大によってこれまでの期間内に出荷が収まらなくなったことや，出荷貝重量の増加を目的に比較的遅い時期に出荷する意志が

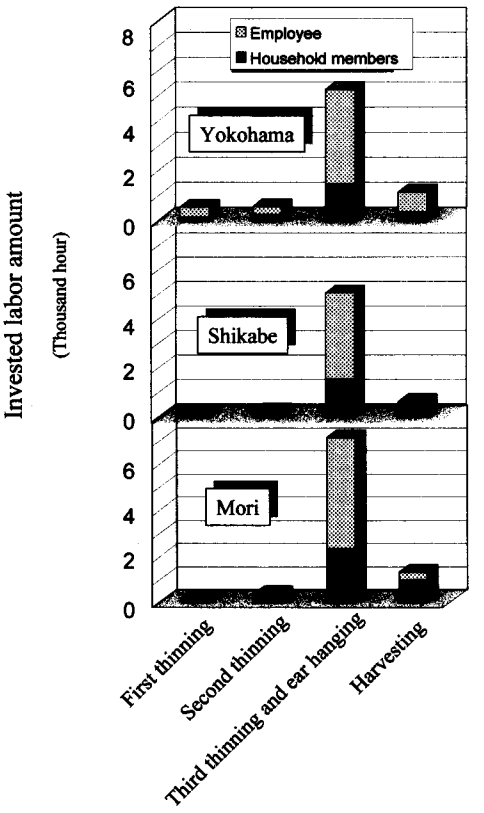


Fig. 8. Labor amount invested in four culturing process.
Source: These data were obtained by inquiring three scallop farmers in Mori, Shikibe, and Yokohama (Mutt Bay) in 1997.

働いた結果などに求めることができよう。

また，分散・耳吊り作業は海水温が急上昇する5月上旬以前に終えないと，貝の生理的ストレスが高まり成長不良やへい死率の増加が誘発されると危惧されている。しかし，出荷期の延伸は，Fig. 11③に示したように分散・耳吊り作業の作業期間を遅らせることになり，作業終了期が現在では6月近くまでに至っている。その結果，作業適期を守り生物の生理的減耗を防ぐといった養殖作業の基本までも等閑に附されている。

以上のように北海道噴火湾を中心にホタテガイ養殖労働の現状を見てきたが，大規模化から派生している養殖労働の問題は分散・耳吊り作業に集中していることが判った。また，近年，分散・耳吊り作業の機械化が進められつつあるが，こういった労働条件の悪化が昂進要因にもなっていると考えられる。

(3) 雇用管理の要件

当該養殖業における雇用形態は常勤雇用と臨時季節雇用に大別される。必要な作業が1年を通して分散しているため，噴火湾と陸奥湾両地区とも臨時雇用形態で各作業期に不足する労働力を補っている経営体が多い。また，雇用者の労働投下量は特に分散•耳吊り作業に偏っていることを前節で示したが，陸

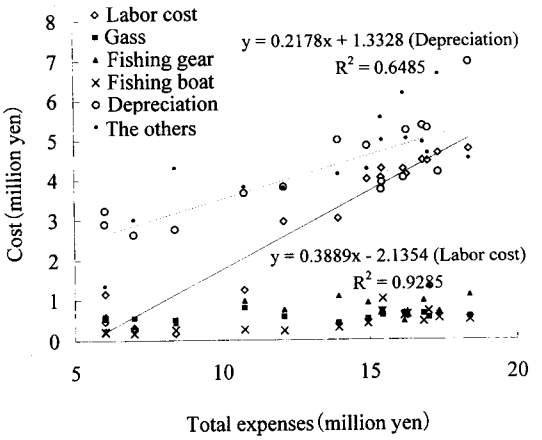


Fig. 9. Distributions of each cost to total farming expense from 1981 to 1996 in Funka Bay.
Source: Report on Fishery Economy —Fishery Household— (1981-1996), MAFF.

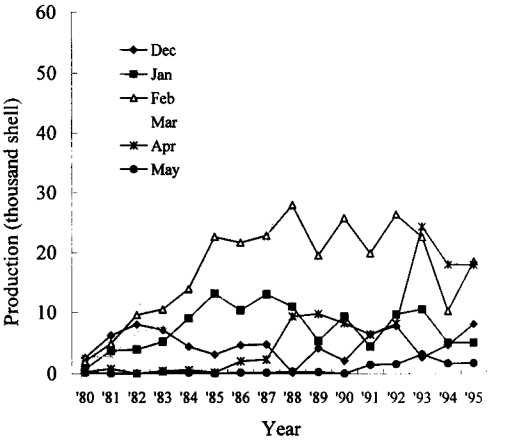
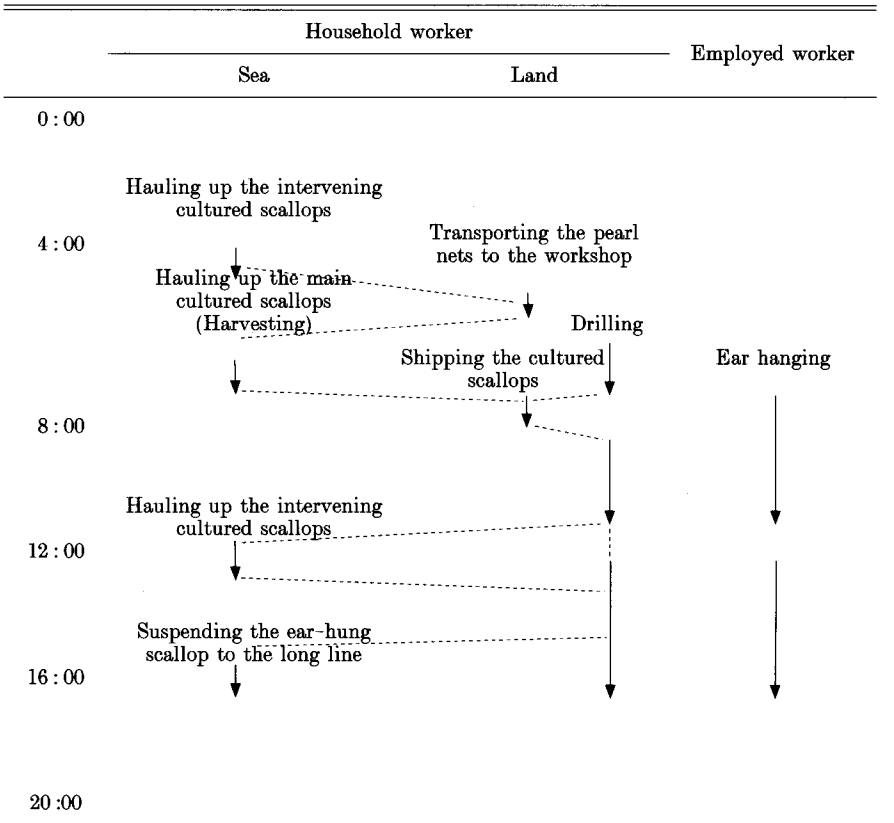


Fig. 10. Yearly change of monthly yield in Oshima region.
Source: Report on Fishery in Hokkaido "*Hokkaido Suisan Genies*" (1980-1995), Fishery Section in Prefectural Office of Hokkaido.

Table 2. An example of time schedule from March through May in Mori recently.



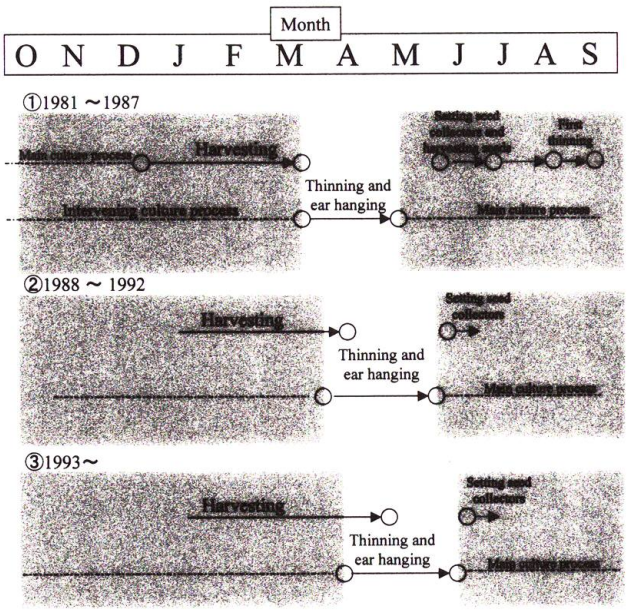


Fig. 11. This diagram indicates change of the work periods in spring in Funka Bay.

奥湾横浜町のように全作業期にわたって雇用している漁家もある。近年の作業船では，種苗の採取作業や一次分散作業は海上において2人の家族労働力だけでも十分に遂行できるようになってきた。しかし，陸奥湾横浜町では，それらの作業を意識的に陸上で行わせることによって，作業者を通年雇用し，分散・耳吊り作業に必要な人員を確保している。分散・耳吊り作業の雇用者の確保は，この事例に見られるように当該養殖業においては重要な管理項目である。

分散・耳吊り作業の臨時雇用の賃金支払形態は，元来は時間給制や日給制であったが，噴火湾では雇用者の労働意欲の向上と労働時間の融通性を確保するために，出来高払いに転換した漁家が多くなっている。また，雇用者の獲得のために賃金以外の付加的サービス（食事や弁当の配給や車の送迎など）を付ける漁家も多くなっている（宮澤ら，1994)。さらに，この作業期の雇用者の確保を目的とした「耳吊り資金」の融資も見られるようになっている。しかし，過剰な労働力の獲得競争によって雇用単価が上昇することを事前に防止するために，雇用単価を一律的に定める地域も少なくない。陸奥湾では，ほどんどの地区で日給4,500円となっており，噴火湾の豊浦町では成人，中・高校生別に時間給の額を定めている。なお，噴火湾域の成人に対する日給は6,000円前後と，陸奥湾域より高い。また，噴火湾域の分散・耳吊り作業期に支払われる雇用経費は年400万円前後，陸奥湾域では年80万円前後で推移しており，全生産経費に占める雇用経費の割合は両地域間に大きな差があることがうかがえる。

一方，大規模経営体の1日当たりの雇用者数は10～20人にも達している。計画した期間内に大量の貝を処理するためには1日当たりの臨時季節雇用をできる限り多く確保しなければならないからである。また，1日の処理量は，雇用者の確保数だけでなく作業能力の高い作業者の獲得にも関わっている。実際に当該作業の調査では処理速度の遅い高齢者と速い若中年層の雇用者では1日の処理量の差が約3,000枚にも及んでいた。このため，大量の貝を作業適期間内に処理できるかどうかは，有能な雇用者を確保できるかにも関わっており，また，これは養殖漁家の雇用管理能力に関わっている。

近年の養殖経営の大規模化は，養殖漁家に長時間の養殖労働を強いるだけでなく，こうした雇用管理の強化をも要求するようになった。また，大規模化した養殖作業を合理的に運営するためにはその他に作業のスケジュール管理や設備管理などといった企業的な経営管理業務の強化までも要求されるていると考えられる。

2-3. 機械・設備の導入過程

(1) 機械化の経緯

ホタテガイ養殖業は，効率的に給餌して増肉係数を向上させて収益を得る魚類養殖業とは異なり，専ら養殖海域で自然発生する植物プランクトンや有機縣濁物をホタテガイに効率的に摂餌させることによって収益を得ている。このため，養殖成果は，自然環境的側面である養殖海域の基礎生産力とこれに適合させる人為的側面である作業技術体系とに密接な関係がある。例えば適正水温域や餌料環境の良い水深に垂下位置を調整する「水深調整作業」，貝のサイズを選別して適正な枚数を成長段階に合った網目のかごに入れ替る「分散作業」，養殖かごや育成貝の付着物を除去する「養殖施設・資材の掃除」と「貝洗浄」などである。これら作業に必要な技術は，生物の育成を高めるための技術であり，垂下式貝類養殖業に特異な体系を成している。本節ではこれらの技術がどのように発展してきたかについて，特に機械化に関してまとめておく。

かご養殖時代の生産規模の拡大時期には1970年代半ばから手労働で行われていた「分散作業」と「貝洗浄作業」を中心に機械化が進められた。分散作業には高速大量処理できる「回転式選別機 (ホタテガイ用トロンメル)」や「振動式選別機」が，貝の洗浄には鉄製網目ドラムの回転を利用して貝の付着物を削り落とす「貝掃除機」が導入された。さらに漁船上には，分散作業や貝洗浄作業の前後作業と施設の掃除作業を円滑化するための「ボンブ (キャプスタンとデリックブームの組合せ)」や「かご巻揚げ機」さらには「油圧式クレーン」などの艤装が施された。また，従来のかご掃除作業は足で付着物を踏みつぶしつつ，動力ポンプを用いた「高圧水噴射機」によって洗浄していたにすぎなかったが，その後，付着物を潰すローラとノズルが往復運動する高圧水噴射機構を具備するかご掃除専用の「かご掃除機」が普及した。この機械化によって今日では一日で1,000枚以上の養殖かごの掃除が可能となった。

これらの機械化によって漁家の労働は大幅に軽減されるようになり，1970年代半ばにはかご養殖形態の機械化作業体系が確立された。それ以後に発達した耳吊り養殖形態においても中間育成まではかご養殖形態と同一の作業が行われており，当時の作業体系は現在主流化している生産技術の基盤となっている。

1980年代に入って耳吊り養殖形態への転換が行われて以降，機械導入が改めて進展しはじめた。貝耳状突起部を穿孔する「穿孔機」，アゲピンを養成綱に差し込む「ピンセッター」，種苗器から幼生貝をふるい落とす「稚貝ホロイ機」などの導入である。また，大型化した漁船上には耳吊り養成綱を巻き上げつつ貝とテグスを分離する「耳吊り巻上剝離機」が艤装された。

1990年代に入ると穿孔作業と耳吊りの仕立てを同時に行える「自動耳吊り機」が導入されるようになった。穿孔機においては，ドリル回転の高速化やジグの上下動の自動化が行われるなど，機械機能及び処理能力が向上した新機械が次々と市場に投入されて現在に至っている。これらの機械化によって，初代の穿孔作業と比較して，作業の軽減化と処理の飛躍的な高速化が可能となった。また，ピンセッターの導入によって雇用者に委託していた養成綱へのアゲピン刺し作業を漁家で賄うことができるようになっている。

以上のように養殖作業の機械化の経緯について概括してきたが，近年の大量生産を可能にした技術的裏付けはこれら個々の作業の機械化だけでなく，陸上の作業施設や運搬設備の大型化と近代化によるものと考えられる。しかし，これらの設備の充実には当然ながら生産コストの高騰として跳ね返ってくることになる。この点については次節で述べる。

(2) 設備投資の経過

Table 3, Fig. 12 は 1994 年の調査によって得られた北海道噴火湾の森漁業協同組合に属する 11 件のホタテガイ養殖漁家の償却資産と普通償却費の経年変化を各々示している。ただし Fig. 12 は，償却資産を Table 3 に示すように，養殖機械，運搬機器，陸上施設，漁労機械，漁船機器，養殖施設，漁船の 7 項目とその他に分類して青色申告で一般的に用いられている定額法と法定耐用年数に基づいて求めた。

Fig. 12 から 1970 年中期に養殖施設，漁船，陸上施設，養殖機械類への投資が見られる。この時期は Fig. 2 に示す噴火湾の養殖経営体当たりの生産量と見合わせても判るようにかご養殖時代の増産期 (1973～1977 年) に当たり，養殖施設の増設による養殖海面の拡大とそれに伴って設備投資が進んだ時期である。また，Fig. 12(a) より 1980 年代から 1990 年代にかけては養殖施設への投資は終焉した反面，漁船，養殖機械類，陸上施設，運搬機器類への投資が著しく上昇していることが判る。耳吊り養殖形態への転換と共にこれらの設備投資によって，各種作業の省力化・陸上施設の充実・漁船の大型化・運搬機器の整備が進められて，1980 年代後半の飛躍的な生産規模拡大が達成されたと言えよう。

次に，1990 年代に入っても投資額の増加が著しい養殖機械類の動向とその内訳を見るために，養殖機

Table 3. Categorized fixed assets

Culture machines	Drilling machine
	Net cleaner
	Shell cleaner
	Grader
	Larva separator
	Fastener setter
Transportation facilities	Truck
	Conveyor
	Motor porter
Facilities on land	Warehouse
	Cistern
Fishing machines	Pearl net hauler
	Line hauler
	Crane
Electric equipment	Fish finder
	Remote controller for operating boat
	Radio
Facilities for hanging culture	
Fishing boat	
The others	Water pump
	Generator

Note : This data was obtained by inquiring eleven scallop farmers at Mori Town, Hokkaido.

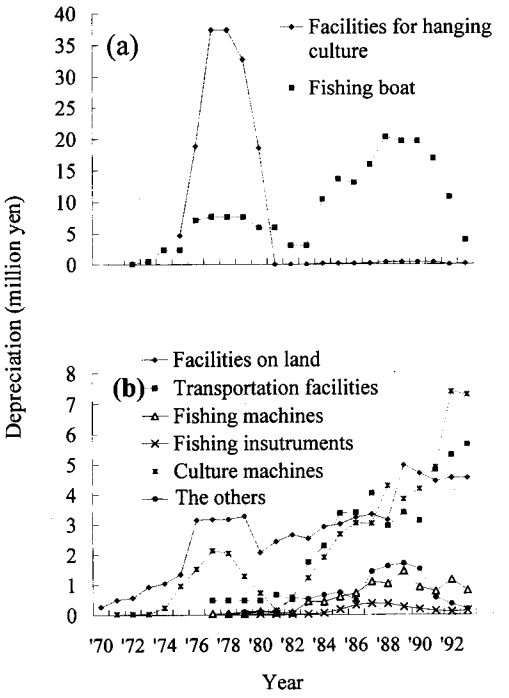


Fig. 12. Yearly change of the depreciations of the categorized fix assets.
Source: This data was obtained by inquiring eleven scallop farmers in Mori Town, Hokkaido in 1994.
Note: The fix assets were indicated on Table 3.

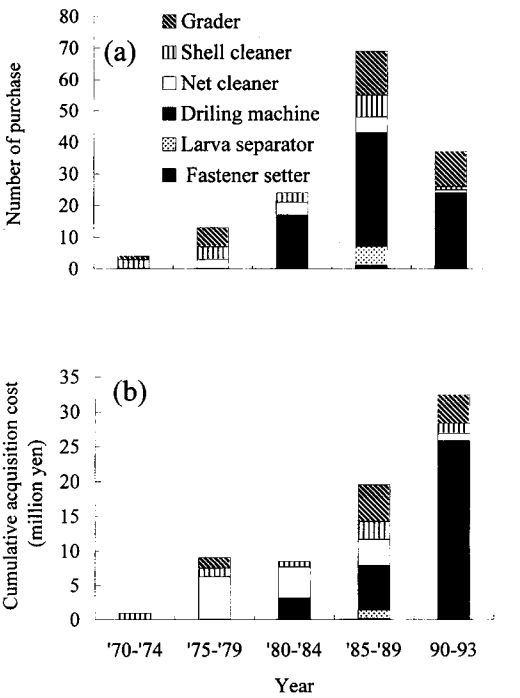


Fig. 13. Investment of machines at five years.
Source: This data was obtained by inquiring eleven scallop farmers in Mori Town, Hokkaido in 1994.

械類の購入回数と取得価格の累積値を Fig. 13 に示した。1970 年代は前節で述べたように，かご養殖の生産規模の拡大に伴って選別機，貝洗浄機，かご掃除機の導入が進んだ。1980 年代に入ると耳吊り養殖形態への転換に伴い，これまで所有していなかった穿孔機の購入が急激に現れており，1980 年代後半と 1990 年代では追加的な投資が行われていることに特徴がある。他の機械類も新規購入もしくは更新された傾向が認められるが，穿孔機への投資増は 1980 年代後半以降の増産と比例しているかのようにこの図から読みとれる。1990 代年に入って，若干購入回数が減っているものの，導入した穿孔機は従来の 20 万円前後の手動装置から 120～160 万円程度の自動装置に置き換えられる傾向にあり，穿孔機への投資額の占める割合も大きくなっており，全投資額の 8 割以上を占めるようになった。このように耳吊り形態の転換後，年々増加する養殖機械類への投資は増産志向の下で穿孔機への投資へと重点が変わってきていると考えられる。

(3) 養殖機械類の発展と特徴

ホタテガイ養殖用の機械類は，生産現場に通う漁船エンジン整備業者や漁具販売業者又は零細な鉄工所や電気設備の修理業者などにより発案され，漁業者の意見を取り込んだ形で，機械製造業者に発注されて開発・製造が進められている。販売面はこの発案者によって行われることが多く，漁村近郊の漁船・機械修理業者などと提携した全国販売網が形成されている。ただし，僅かではあるが自社による開発・

製造・販売を行っている業者もある。また，養殖経営の大規模化による需要の高まりによって，新機械の開発・宣伝・販売競争が促進され，次々と新型装置が開発され市場に投入されるようになった。一方，生産者側も機械展示会を共同開催するなどして，機械装置の用途と能力に関する情報を集めており，機械化に積極的な関わりを持っている。さらに，1980年代半ばの好景気の影響もあって，近年の大規模経営体には多種多数の養殖機械類が所有されるようになっている。

「2-3. (1) 機械化の経緯」では代表的な養殖作業用の機械類を紹介したが，同種の機械においても機構の異なる装置や，さらに多くの新機械類が存在する。しかし，2つの処理工程を自動化した「自動耳吊り機」を除き，全ての機械類は単能的に特定の処理工程を機械化したにすぎないことが共通的特徴である。例えば，前述した穿孔機においては，自動化・高性能化した高価な装置が各社から市場投入されて導入が進んだものの，その効果は，オペレータの経験を要しなくなったことや穿孔作業が高速化したことなど，単一作業の能率化でしかなかった。また，かご掃除機やピンセッターなどのように機能が向上しても生産過程における労働生産性（貝の処理量/労働時間）の向上に直接結びつかないものもあった。設備投資は諸作業の軽減や作業精度の向上などを達成するために行われるが，新型機械装置への追加・更新が行われる度に設備投資費が上昇すると，その投資に見合うだけの利益を上げない限りは，過剰装備として評価されることになる。

自動耳吊り機は，穿孔機能と臨時雇用者に依存してきたテグス通し作業を代替する機能を有しており，2つの処理工程が合併された点で，これまでの養殖機械類とは異なる発展を遂げた機械化である。また，処理速度が従来の手作業より高速であればこれまでの機械類よりも大幅な省人化が期待できる。しかし，他の養殖機械類が200万円以下であったのに対し，当該装置は400万円以上の価格となっており，高額な設備投資が必要である。

増加する初期設備投資や機械利用経費に対して機能の向上によってもたらされる雇用節減額が上回って初めて養殖経営の機械化が経済的に成立し得る。実際には，機械処理能力と機械稼働量が経費節減効果を求める上での問題となるが，この点に関しては第5章，第6章で論ずることにする。

2-4. 考 察

本章では大規模化したホタテガイ養殖業の養殖労働の現状と，養殖経営面での機械化の効果と投資傾向を見てきた。ここでは以上の内容を改めてまとめつつ，今後の機械化の対策について考察する。

① **養殖工程への労働力配分** 農業の機械化では諸作業の労働生産性の向上だけでなく，季節的に分断されている農作業工程の労働力配分を均一化することも目的の一つに挙げられている（川延，1966)。特定期間だけに多くの臨時雇用を使わなければならない場合，雇用確保が困難になることと，他の工程を機械化しても総体的な労働生産性の向上が望めないからである。これらの観点からホタテガイ養殖作業を評価すると，諸作業に機械類が導入されているにもかかわらず，Fig. 8が示すように労働力配分の均一化がなされていない。特に分散・耳吊り作業だけに労働力配分が集中しており，大規模化によって当該作業への雇用経費も膨大（生産経費の約3割弱）になっている。

大規模化した経営を改善するためには当該作業の生産性の向上と低コスト化が必須となる。

② **養殖機械類への投資問題** 穿孔機の例で見られたように単一処理工程の機械が高性能化しても，テグス通し作業など生産性の低い手作業工程が改善されなければ，全体作業の生産性は向上しない。また，高性能化したかご掃除機の追加・更新も局所作業改善にすぎず穿孔機と同じことが言える。しかし，限られた家族労働力だけで行ってきた穿孔処理が高速化されない限り，生産規模を拡大するための雇用

者の増員が不可能であったことは否めない。また，かご掃除作業の高速化は，大規模化によって過剰となった労働時間が削減され，家族労働者の「生活改善」に繋がっている。

これらの機械類の追加・更新では家族労働力の節減が実現しているが，その反面，養殖生産の生産性改善に直接的に繋がるものではない。さらにそれらの機械類の投資はなんらかの経費の節減効果がない限り生産原価を低減させないため，更新前の機械類より投資額が高額であればその追加や更新には常に過剰投資を招く恐れが内在している。

この点を改善するには，利用時期や時間の制約が少ないかご掃除機やピンセッターなどの機械類に関しては，複数の経営体による共同購入・共同利用が生産原価の節減策となろう。しかし，穿孔機に関しては作業期間稼働し続けなければならないため共同利用は不可能である。

③ **管理業務**　養殖経営では作業スケジュール管理や雇用管理及び設備管理などの管理業務も存在する。特に経営が大規模化すると，全作業を合理的かつ経済的に運営する上で，管理業務は重要な要素となる。例えば，雇用調達が成り立たなければ計画的な作業が行えないことがある。実際に「1-2. (2) 養殖スケジュールの変遷」で見てきたように，分散・耳吊り作業では大規模化に伴い雇用管理やスケジュール管理が困難となっており，作業の終了期が適正な作業期間内に収まらないようになっている。また，設備の点検・保守・整備などの管理業務が怠られれば，機械寿命が縮み設備更新が早まるため，予定外に設備維持費や設備更新費を支払わなければならなくなる。このように，諸設備への多投に伴った大規模経営は無駄な経費の支払いを回避するため設備管理能力も必要とされるのである。

省力化や生産技術の再編を行う場合，技術導入の生産性や経済的効果の評価だけでなく技術導入に伴い変遷する管理業務の最適な方策についても構築しながら養殖経営を改善していく必要性がある。

以上のようにホタテガイ養殖業の作業と機械導入に関する問題点又は改善点を整理したが，最後に生産技術上の経営改善を進めるための対策について検討する。

① で示唆したように大規模化した養殖経営を改善するには分散・耳吊り作業の省力化及び低コスト化が重要事項である。特に当該作業では労働力配分が極端に多いことと，③ で示唆した雇用管理が困難になっている問題点を改善する必要があるため，雇用節減が最も必要な課題となろう。しかしながら，単一処理工程の機械化では ② で指摘したように大幅な生産原価の節減が達成できない可能性があるため連続した処理工程を機械化することが肝要である。

こういった視点から当該作業の機械化を考えると自動耳吊り機の導入は経営改善策の一案となる。しかし，導入する際には作業適期間内の機械稼働で低コスト化が可能であるかを確かめなければならない。また，保守・整備などの設備管理やそれにかかる経費などが必要となるが，機械化によって付加されるこられの事柄についても十分に考慮されなければならない。

第3章以降では，本章で捉えた養殖作業と機械化の問題点を踏まえて，自動耳吊り機の導入を進めていく上で重要となる最適作業システムの決定法や自動耳吊り機導入の評価法を I.E. 手法を用いて展開していく。

3. ラインバランシングによる分散・耳吊り作業の効率評価

生産性の低い作業を改善する際には，機械導入による省力化が考えられる。しかし，極めて大量の作業者を必要とする分散・耳吊り作業の改善を考える場合，機械導入を実施する上でも作業体系が効率化されなければ，経営改善に繋がらない。本章ではラインバランシングを用いて分散・耳吊り作業の効率的作業体系の決定法を検討した。

ラインバランシングとは，例えば家電製品などの組立て生産ラインの効率化に用いられた概念であり，各ワークステーション (以下，ステーション) 間の生産時間を均等化させることである。生産ラインのバランスがとれれば，各ステーション間で仕掛かり品 (素材から製品になるまでの生産対象物) が停滞するブロッキング現象が防止でき，仕掛かり品の流れが円滑化されて作業全体の無駄時間が減少し，作業効率 (稼動時間/実動時間) が向上することになる。

本章の目的は，ラインバランシングの概念で扱われる評価尺度である「編成効率」を用いて，分散・耳吊り作業について想定可能な複数の作業システムの効率を比較し，高効率化した作業システムに対する作業者の配分数を決定することにある。また，本手法を実作業に当てはめるためには，当該作業に必要不可欠な作業要素の特定とその標準作業時間の計測が必要となる。このため，効率評価に必要となるこれらのパラメータを実作業の工程分析 (並木ら，1985；千住ら，1989) と作業時間の標準化 (北内，1983) から求めて解析に用いた。

3-1. ラインバランシングと編成効率

(1) 作業要素の組合せの評価

ライン生産作業システムでは，生産対象物が製品化されるまでに必ず通過しなければならない最小単位の作業である「作業要素」と，生産ラインから完成された製品が産出される時間間隔を意味する「サイクルタイム (生産時間/製品)」が存在する。

生産ラインのバランスをとることは，各ステーションの単位生産時間 (生産時間/仕掛かり品) が決められたサイクルタイム内で均等化するように作業要素を組合せてステーションに割り当てること (以下，グループ編成 (人見，1992)) である。グループ編成では各作業要素がステーション1つだけに割り付けられ，編成後の各ステーションには1人の作業者が配置される。ステーションの単位生産時間は1仕掛かり品 (pc) がステーションに割り付けられた作業要素によって処理される時間 (以下，作業要素時間) の総和となり，サイクルタイムは全ステーション中の最大単位生産時間として定義される。

Fig. 14 にグループ編成の例を示す。Fig. 14(a) は，作業要素を WE_i ($i=1, 2, 3, \ldots, I$) としたときの各作業要素時間 t_i (time/pc) の関係を示したものであり，Fig. 14(b) はサイクルタイムを τ (time/pc)，第 k ステーションを ST_k ($k=1, 2, 3, \ldots n$; $n \leqq I$) としたときのグループ編成後の生産ラインのバランス状態を示したものである。

グループ編成は先の定義から次の2つの制約を満たさなければならない。

制約 I 作業要素の実施順序に課せられた技術的制約である作業要素の先行関係が割り当てられたステーションの順序と矛盾しない。
制約 II 各ステーションの作業要素時間の合計が指定されたサイクルタイムを超越しない。

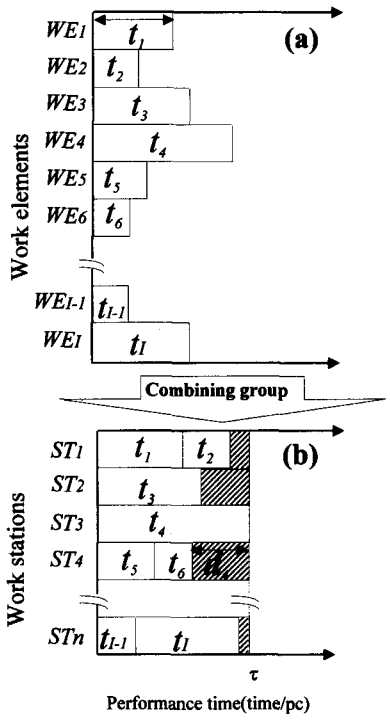


Fig. 14. Schematic diagrams of (a) the original and (b) combined work elements.
t_i is the standard time of the i-th work element ($i=1, 2, 3, \ldots I$). d_k and τ show the idle time of the k-th work station ($k=1, 2, 3, \ldots n$; $n \leq I$) and cycle time respectively. The hatched area is the sum of idle time in the line production system. The unit of performance time (time/pc) is the necessary for processing one of item.

ここで二つの作業要素を WE_x, WE_y とし，作業体系を n 個のステーションからなる集合 $\{ST_1, SP_2, \cdots, ST_n\}$として考える。このとき，ステーション q, r $(q<r)$ に割り当てられた作業要素 $x \in ST_q$, $y \in ST_r$ の順序関係は，制約Ⅰによって $WE_x < WE_y$あるいは $WE_x \nless WE_y$ を満たさねばならない。ただし，「$WE_x < WE_y$」は作業要素 x が作業要素 y に先行し，「$WE_x \nless WE_y$」は先行も後続もする必要がないことを意味する (彌永・彌永，1976)。

制約 I を満たした ST_k に対する制約Ⅱは (1) 式となり，このときのサイクルタイムは (2) 式で定義できる。

$$\sum_{i \in ST_k} t_i \leq \tau \tag{1}$$

$$\tau = \max_{1 \leq k \leq I} \sum_{i \in ST_k} t_i \tag{2}$$

(2) 式のサイクルタイムと ST_k に含まれる全作業要素時間の総和の差は「遊休時間 (人見，1992)」と呼ばれ，作業効率を低下させる「作業の無駄時間」を意味している。これを (3) 式に d_k で表した。作業全

体の総遊休時間 D は，Fig. 14(b) のラインバランス表の斜線部分の示す総面積を表し，(1)～(3) 式から (4) 式として導かれる。ここに γ は作業体系全体の実稼動時間であり，Fig. 14(b) 中の白抜きの棒の総面積を表す。

$$d_k=\tau-\sum_{i\in ST_k} t_i \tag{3}$$

$$D=\sum_{k=1}^{n} d_k=n\tau-\gamma\,;\ \gamma=\sum_{k=1}^{n}\sum_{i\in ST_k} t_i=\sum_{i=1}^{I} t_i \tag{4}$$

ライン生産作業体系の効率を向上させるには，この総遊休時間を低下させ，ステーション間の作業時間のバランスを改善すればよい。

一方，サイクルタイム及び遊休時間は作業要素の組合せ方によって異なるので，実時間に基づくバランスの統一的な評価は困難となる。このため，Fig. 14(b) のサイクルタイムの線で囲まれた面積と γ の面積の百分率である (5) 式に示す編成効率 E を用いて複数の作業体系のバランスを評価することにした。

$$E=\frac{\gamma}{n\tau}\times 100=\left(1-\frac{D}{n\tau}\right)\times 100 \tag{5}$$

(5) 式が示すように，編成効率が大きいと作業体系の総遊休時間は小さくなり，編成効率が大きいほど効率化された作業システムであるといえる。

分散・耳吊り作業の最適作業システムはホタテガイの生産率が最大，即ちサイクルタイム (s/shell) が最小かつ編成効率が最大となる作業要素の組合せの時に得られる。

(2) 作業者配分の評価

前項では各作業要素が割り当てられた一つのステーションのみで処理されるように作業の流れを直列化して生産ラインのバランスを最適化した。このため，得られた作業システムのサイクルタイムには下限時間が存在し，この値よりも小さなサイクルタイムで生産を行うことはできない。

そこで，このようにして得られた作業システムの生産率をより高める場合には，各ステーションを複数化し並列化する方法が考えられる。並列化によって 1 つのステーションの単位生産時間は変わらないものの並列化ステーション群の「見掛け上の単位生産時間」は短縮され，作業システムの「見掛け上のサイクルタイム」もまた短縮できる。また，ステーションの並列化は割り振られた同じ作業要素群に複数の作業者を配置することを意味するので，生産ラインのバランスはステーションの並列数 (即ち作業者の配分数) によっても変化する。各ステーションの最適並列数は，見掛け上の単位生産時間が並列数に反比例することを考慮した上で，編成効率が最大となる整数計画から求めることができる。

ST_k の並列数を m_k とすると，当該ステーション群の見掛け上の単位生産作業時間 α_k は (6) 式で表せ，その時のサイクルタイムと編成効率は (7), (8) 式となる。

$$\alpha_k=\frac{\sum_{i\in ST_k} t_i}{m_k} \tag{6}$$

$$\tau=\max_{1\le k\le n}\alpha_k \tag{7}$$

$$E=\frac{\gamma}{n\tau}\times 100\,;\ \gamma=\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \tag{8}$$

作業要素の組合せを決めると (7) 式のサイクルタイムが定まるので，ラインバランスのとれる各ス

テーションの並列数は (8) 式の編成効率の分子 γ が最大になる場合の m_k の集合として示される。γ は α_k の和であるので，γ の最大値は結局各 α_k が最大値になる場合だけについて得られる。制約 II から導かれる (9) 式を満たす範囲で各 α_k が最大となる時，(10) 式から求められる並列数 m_k は最小整数値となり，この値が最適作業者配分数となる。

$$\frac{\sum_{i\in ST_k} t_i}{m_k} \leq \tau \tag{9}$$

$$m_k = \left\lceil \frac{\sum_{i\in ST_k} t_i}{\tau} \right\rceil \tag{10}$$

3-2. 工程分析と作業要素時間の標準化

(1) 計測方法

分散・耳吊り作業の工程分析と作業要素時間を計測するため，VTR による作業研究を 1994 年 5 月 23, 24 日に北海道噴火湾森町管内のホタテガイ養殖業者の作業場において行った。VTR 観測は室内で魚眼レンズをつけた 8 ミリビデオカメラにより計 16 時間実施した。

(2) 工程分析

工程分析の結果，当該作業は Fig. 15 に示すように，中間育成したホタテガイをザブトンかごから取り出す「取り出し作業」→未成熟貝や異常貝を除去する「選別作業」→ホタテガイの耳状部に小孔を開ける「穿孔作業」→ホタテガイの孔に養成綱のテグスを通してくくり付ける「テグス通し作業」，の連続した 4 つの作業要素で構成されていることが判った。この分析結果から，4 つの作業要素順に 1〜4 までの番号を与え，各作業要素を WE_1〜WE_4 とした。このとき，作業の順序関係は (11) 式のように示される。

$$WE_1 < WE_2 < WE_3 < WE_4 \tag{11}$$

当該地区では，選別作業にトロンメルを用いて殻高 48 mm 以上の群を選別し，これを耳吊り対象貝としている。穿孔作業では，毎分 3 万回転程度のホタテガイ穿孔用電動式ドリルを用い，毎秒 0.5〜1.0 回の上下運動をするドリル刃と固定型枠との間に貝の耳状部を差し込んで穿孔を行っている。他の 2 つの

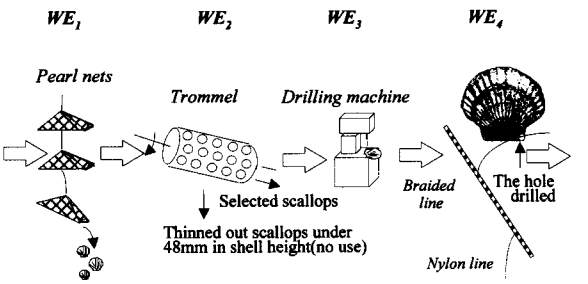


Fig. 15. Four consecutive work elements in the thinning and ear hanging work.
WE_1; Taking scallops out of peal nets. WE_2; Thinning scallops.
WE_3; Drilling hole in the ear of scallops. WE_4; Setting a nylon line through the hole.

作業は専ら人手によって行われているが，近年，穿孔からテグス通しまでを自動化した機械が導入されつつある。

(3) 作業要素時間の標準化

作業要素時間の標準化の手法には，P.T.S 法 (標準資料法)，実測法，推測法がある。P.T.S 法は分類された作業要素をさらに要素動作 (会田，1987) に分解して，「機械の動き」，「人の動き」，「物の動き」と「それぞれの作業条件」とを組合せて標準資料を作成し，これに基づいて作業時間を算出する方法である。推測法は新しく推定した作業の要素動作工程を類似動作の資料から推測する方法である。しかし，実際の作業では作業者ごとに作業方法が異なっており，特に穿孔作業では処理員の中に混入した異常員を除去する作業が不定期的に含まれることから，その作業の動作順序に規則性は認められず，作業手順を詳細に確定することは困難である。このため作業要素時間は実測時間を標準時間とする実測法に基づいて算出した。

時間研究ではまず各作業要素ごとに作業の周期性に着目し，作業要素のワンサイクルの開始動作と終了動作を定めた。着目した i 作業要素 ($i=1, 2, 3, 4$) において作業者が作業開始時刻 T_{start} から終了時刻 T_{end} までにホタテガイを p 枚処理した場合，ホタテガイ 1 枚当たりを処理する i 作業要素時間 X_i (s/shell) は (12) 式によって求められる。

$$X_i=\frac{T_{end}-T_{start}}{p} \tag{12}$$

このようにして得られたすべての作業者の作業要素別時間分布を 95% の有意水準で χ^2 検定した結果 (Table 4)，すべてに正規性が認められたので，各作業要素の母集団平均に相当する t_i ($i=1, 2, 3, 4$)

Table 4. Normality-test of the measured performance time for each work element ($WE_1 \sim WE_4$) in the thinning and ear hanging work.

Work element	Worker	Age	Sex	Number of samples	Mean (s)	S.D.	χ^{2*}	Significance**
WE_1	a1	61	Male	9	0.26	0.06	3.17	○
	b1	57	Female	16	0.20	0.04	0.65	○
	c1	31	Male	14	0.19	0.02	0.17	○
	d1	33	Female	19	0.29	0.05	1.07	○
WE_2	a2	62	Male	16	0.05	6.2×10^{-3}	1.52	○
	b2	58	Female	20	0.05	6.5×10^{-3}	1.86	○
WE_3	a3	22	Male	25	1.06	0.19	10.13	○
	b3	50	Female	10	1.49	0.19	1.36	○
	c3	57	Male	10	1.26	0.13	0.41	○
	d3	33	Female	10	1.57	0.12	1.8	○
WE_4	a4	70	Female	14	5.41	0.43	0.36	○
	b4	20	Female	21	3.15	0.18	0.81	○
	c4	58	Female	15	4.25	0.31	4.49	○
	d4	35	Female	21	3.29	0.24	2.13	○
	e4	42	Female	22	3.39	0.17	1.69	○

* χ^2 value
** ○, ×; (95% significance level)

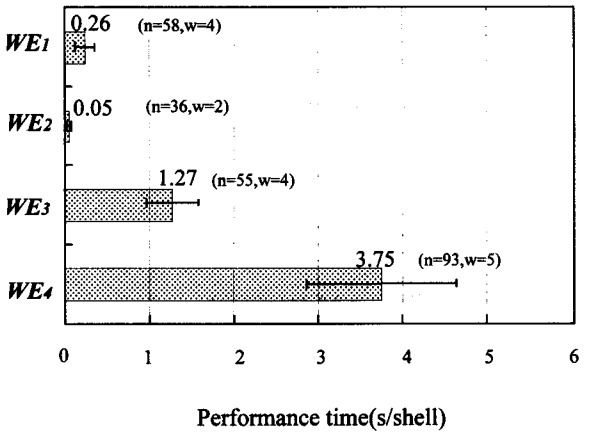


Fig. 16. Measured standard time of the four work elements in the thinning and ear hanging work.
n and w are the number of samples and workers, respectively.

は，各作業者の平均作業時間の期待値から算出した (Fig. 16)。

3-3. 作業システムの評価結果

(1) ステーションへの作業要素の割り当て

分散・耳吊り作業の作業要素の順序関係は (11) 式となるので，編成可能なライン (以下 *LSP*；Line Production System と呼ぶ) は Fig. 17 に示す 8 つのパターンだけになる。Fig. 18 に計測した標準作業時間と (5) 式を用いて算出した各パターンのラインバランス表と編成効率を示す。

生産率と作業効率 (編成効率) が良い作業要素の組合せは，はじめに編成可能な *LPS* 群から生産率の高い (即ち，サイクルタイムが最小となる) グループを見つけだし，その中で最も編成効率の良い *LSP* を選択するアルゴリズムによって得られる。本手法が対象としている分散・耳吊り作業では，はじめにサイクルタイムが 3.75 (s/shell) 以下となる作業システム LPS_1, LPS_2, LPS_3, LPS_5 が求められ，次にこのグループ内で最大の編成効率を示した LPS_5 (71%) が最適作業システムとして得られる。LPS_5 は「取り出し作業」と「選別作業」及び「穿孔作業」を 1 つのステーションとして組合せ「テグス通し作業」のみを 1 ステーションとした作業システムであるが，これは実作業での作業要素の組合せと合致している。

(2) 作業者配分数

Fig. 19 は，最適作業システムとなった LPS_5 について考え得るサイクルタイムと各ステーションの並列数を (8) 式の編成効率が最大となった 13 例について図示したものである。当該作業の場合には，各ステーションの並列数が並列作業者数となる。この結果，目標とするサイクルタイムを選択すれば編成効率が最大となる作業者の配分数を得ることができる。実測したサイクルタイムが 0.62 (s/shell) であることから，第 1 ステーションに 3 人，第 2 ステーションには 6 人の作業者を配分した LPS_5 が最も効率の高い作業を行えるシステムとなる。実作業における各ステーションの作業者配分数もほぼ同じ値を示しており，生産者は生産率と作業効率が最大となる作業システムを経験的に選択しているものと考えられる。

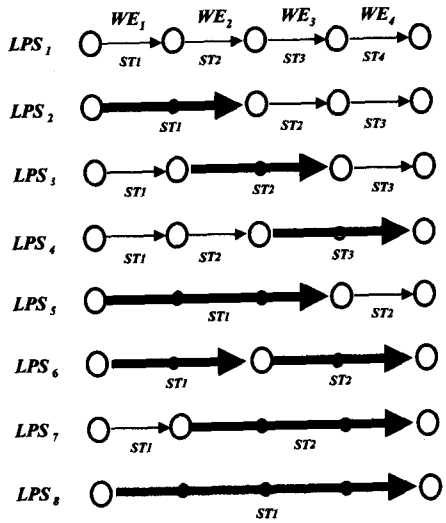


Fig. 17. Eight possible combinations of line production system ($LPS_1 \sim LPS_8$) in the thinning and ear hanging work.
WE_i is the i-th work element. ST_k is the k-th combined, or non-combined workstation.

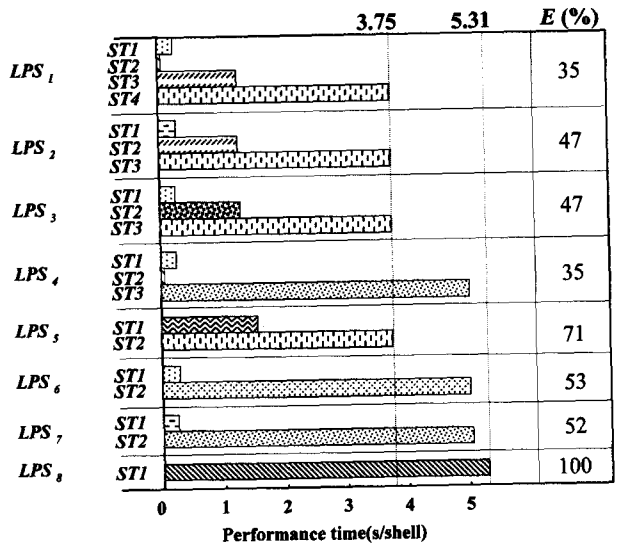


Fig. 18. The line balancing of the eight possible combinations of the line production system, and evaluated their efficiencies E.

3-4. 考 察

本章の手法を用いて作業システムの評価を行う際には，独立な作業要素を決定しておく必要がある。一般に，作業要素時間は着目する作業体系をどのような作業要素群に分割したかに依存するので，実作業の実態に即した綿密な工程分析を実施した後，明確に定義づけられた作業要素の標準時間を決定すべき

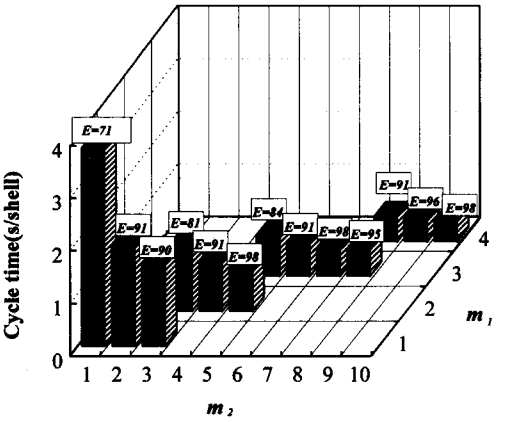


Fig. 19. Thirteen calculated examples of variation of cycle time and efficiencies E, when adjusting the workers (m_1,m_2) at each work station in LSP_5.

である。分散・耳吊り作業においては一連のサイクル作業となる最小作業単位と工程分析で定義した4作業工程が一致しており，時間研究で定めた標準時間は当該作業に共通するパラメータとなっていると考えられる。

生産率と作業効率が最大となる分散・耳吊り作業の最適作業システムは，ラインバランシングの概念にしたがって実作業を作業要素に分割し，作業要素時間から求められるサイクルタイムと編成効率によって決定することができる。さらに，本章で示した作業者配分法を用いれば，編成された新しい作業要素群の最適作業者配分数を想定可能なサイクルタイムと編成効率から導くことも可能となる。

分散・耳吊り作業はわずか4作業要素しかなく，ラインバランシングに基づく実例としては作業要素が多数ある工場の生産ラインから比べると少なく感じる。しかし，生産現場では作業軽減のため高速化された穿孔機やテグス通し作業を行う自動機械等の導入がおしすすめられており，今までの作業体系にこのような高速化された機械が導入されることによって生産ライン全体のアンバランスの発生が予想されている。このとき，たとえ4作業要素とはいえ作業全体の効率を考慮した機械設備の導入が計られれば，より良い作業体系を実現することができる。

当該作業の工程計画はこれまで着業者のみによって決められていたが，今後上述した手法を用いれば，計画した生産量と生産時間内で最大の作業効率となる作業システム及び作業者配分数を合理的に決定することができる。本章では経済性に関する問題を排除して生産率と作業効率だけに焦点を絞って解析を行ったが，次章で述べる経済性指標を考慮すると生産の現状に即したより合理的な作業システムが得られると考える。

4. 作業システムの作業者と機械設備の最適配分法

第3章では，分散・耳吊り作業を「流れ作業型生産システム (*LPS*)」として捉え，はじめに「ラインバランシング」の概念を用いて「編成効率」が最大となる「要素作業」の組合せを定め，その後この編成ラインのワークステーションを並列化することで高生産率作業システムの作業者配分法が可能であることを示した。この並列化手法を用いれば，ラインバランスの良い作業要素と作業者及び機械設備配分ができ，結果的に当該作業の生産性を向上せさることができた。しかし当手法ではステーションの並列化に伴う生産費用の変動を捨象しているため，経済性を含んだ作業システムの評価や設計を行うことはできなかった。最適な作業システムでは編成効率と生産費用が同時に満足されるライン編成となるが，一般に両者の関係は複雑で本章で詳述するようにラインの編成問題と生産費用の最小化という経済性問題を統一的に取り扱う必要がある。

一方，編成された *LPS* 間の生産費用を評価する研究は Pinto ら (1975, 1981) や Sarker ら (1983) の報文に散見される。Pinto ら (1975, 1981) の研究では最適作業システムを検索するために，ライン編成後の *LPS* に単位日数当たりの労務費と機械設備費の和で定義した経済性尺度を当てはめて，この値を最小にする *LPS* を「最適」と評価している。しかし，この評価尺度は *LPS* の生産時間内で各ステーションに発生する「遊休時間」を無視しているため，遊休時間を持つステーションが編成効率と投資効率を低下させる現象を表現できる尺度構成とはなっていない。また，Sarker ら (1983) はこの現象も含めた評価尺度を用いているが，この評価尺度は作業システムに内在する機械類の固定費用をすべて同値としているので，価格の異なる機械類の分配数の違いによる投資効果が考慮できない。更に，Pinto ら (1975, 1981) は設備投資費を固定費用とし，定額法によって1日当たりの「減価償却費」に換算して用いているが，この尺度は機械設備が通年稼動して設備費が耐用期間中一律に償却され続ける「工場型生産ライン」に対してのみ有効である。生産期間が1年の特定時期に集中し，なおかつ漁獲量等によって生産時間と処理量が大幅に変動する当該作業や他の漁業生産に対しては不的確な評価尺度となっている。

本章では，既存研究の弱点であった以下の2項目を考慮しながら生産費用の概念を拡張し，編成効率と費用が統一的に扱える評価尺度を定義して当該作業システムの総合的な評価を行った。

1. 生産費用に編成効率を導入し，編成ライン中の遊休時間によって生じる投資効果の低下分を評価する。
2. 機械設備費用を計画生産量によって変動する関数として表現する。

4-1. 作業システムの評価方法

(1) 生産率の短縮に伴うライン編成の問題点

生産率は単位生産時間当たりの処理製品数で表される。生産率を増加させるには，生産率の逆数で一製品当たりの生産時間を意味する「サイクルタイム」を短縮すれば良い。サイクルタイムは編成ラインのステーション群中で最長作業時間を持つ工程 (以下，ボトルネック工程) の標準作業時間であり，これを短縮するためには当該ステーションを並列化して単位時間当たりの処理能力を増加させて生産速度を見掛け上早めることが考えられる。しかし，作業要素の再編成も可能であれば想定可能な編成ラインは複数となり，次のような最適評価のジレンマが顕在化する。

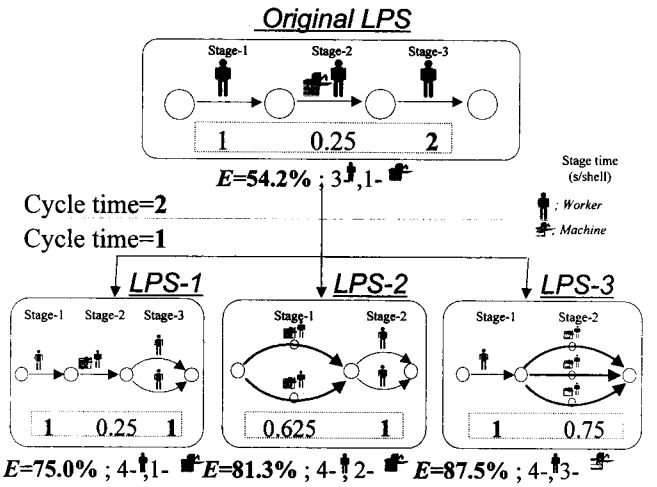


Fig. 20. Schematic diagrams of an original line production system (Oliginal *LPS*) and three line production systems (*LPS*-1, 2, 3) with parallel arrangement. The cycle time of Original *LPS* and of *LPS*-1, 2, 3 is 2 and 1.

Fig. 20 は，サイクルタイムが 2 である仮想的な *Original—LPS* から，ライン再編成とステーションの並列化を行ってサイクルタイムを 1 に短縮した場合の *LPS*-1, 2, 3 を例示したものである。ただし，*Original-LPS* は，3 つの作業要素で構成され，第 2 番目の作業要素には作業機械 (1 作業者—1 機械) を有するものとする。また，*LPS*-1 は *Original-LPS* のボトルネック工程である Stage-3 (Stage とはライン編成後の「工程」を意味する) を並列化してサイクルタイムを 1 に短縮したライン編成で，これに対し *LPS*-2, 3 は，ラインを再編成し並列化したライン編成である。これら *LPS* を編成効率で最適評価すると，最大編成効率の *LPS*-3 が最適作業システムとなる。しかし，生産費用面から見ると全ての *LPS* で総作業者数 (4 人) が等しいので，最少機械設備数 (機械一台) で最小編成効率の *LPS*-1 が最適作業システムとなり，編成効率評価と相反する結果となる。

ラインの編成とステーションの並列化に伴うこのような性質は，生産設計時における最適作業システムを検索する場合に，生産率 (又は，サイクルタイム) と編成効率及び生産費用 (労務費や機械設備費等) を統一的に評価する尺度を用いなければ最適な *LPS* が決定できないことを示唆している。更にサイクルタイムや編成効率はラインの編成方法によって離散的に変化することから，これらの値は諸生産費用に対して線型的関係を示さず，この例のように最大編成効率を持つ *LPS* が必ずしも最大生産費用を示すことにはならない点に注意が必要である。*LPS* の最適性を評価する際には，この点も考慮できる評価尺度を用いるべきである。

(2) 遊休時間を含めた労働費用

Fig. 21(a) は，遊休時間 d_k の存在する 100% 未満の編成効率を持つ流れ作業型生産システムを LPS_a としてラインバランス表に例示したものである。本章では第 2 章と同様に，ある *LPS* 中の作業要素と作業要素時間を WE_i ($i=1, 2, 3 \ldots I$) 及び t_i とし，第 k ステーションを ST_k ($k=1, 2, 3 \ldots n$)，第 k ステージの作業者配分数と同義である第 k ステーションの並列数を m_k とする。1 製品を完成させるために必要な実稼動時間を T とすれば第 k ステージの単位生産時間 α_k とサイクルタイム τ 及び編成効率 E は (13) 式群のように表現される。(14) 式は任意の *LPS* に対する 1 製品当たりの労務費 U_{labour} を時間

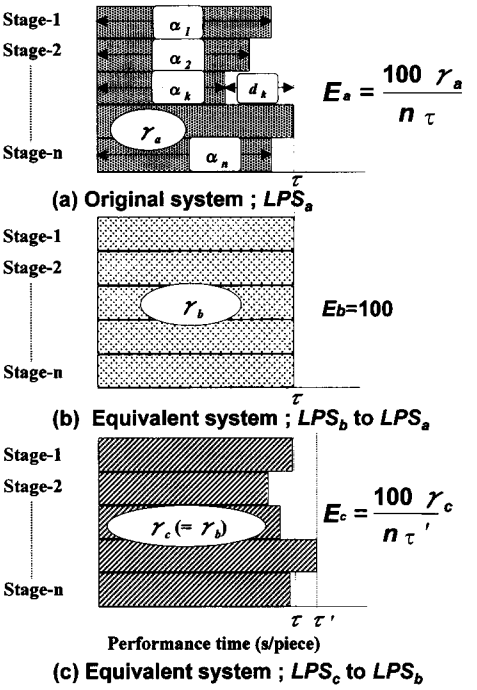


Fig. 21. Schematic line balance chart of two equivalent systems (b, (c) to an original (a).

給 $h_{\max}$ (¥/time) で表したものである。

$$\alpha_k=\frac{\sum_{i\in ST_k} t_i}{m_k},\ \tau=\max_{1\le k\le n} a_k,\ E=\frac{\gamma}{n\tau}\times 100\ ;\ \gamma=\sum_{k=1}^{n}\alpha_k \tag{13}$$

$$U_{\text{labor}}=\tau\cdot h_{\text{man}}\cdot\sum_{k=1}^{n} m_k \tag{14}$$

編成効率を含まない (14) 式によって労務費 U_{labor}を定める場合を想定すると，遊休時間の有る LPS_a の労務費は同じサイクルタイムを持ちながら遊休時間の全くない Fig. 21(b) に示す編成効率 100% の LPS_b の労務費と見掛け上等しくなる。このことは LPS の遊休時間によって生じる投資効率の実質的低下分が (14) 式による労働費用では評価できていないことを意味している。しかし，一製品当たりの労務費用が実稼動時間分だけに支払われると仮定すると，実稼動時間 T_b 分支払われた LPS_a の労務費の評価は LPS_a と同編成効率で同作業者数又は LPS_b と同実稼働時間 ($T_c=T_b$) となるサイクルタイム τ' ($>\tau$) の LPS_c (Fig. 21(c)) に相当する労務費として取り扱うことができる。この関係に着目することで，同一の労働費用が支払われる賃金体系を想定した際に，ステージ中の遊休時間の損益分も作業性と同等に評価できる尺度を次の手順で導いた。

(15.1) 式は Fig. 21 の各 LPS の実稼働時間と遊休時間及びサイクルタイムの関係を示したものである。上述した理由から着目する LPS_c のサイクルタイム τ' は，LPS_a と同一の編成効率となる条件を示す (15.2) 式を用いると，(15.3) 式のように表せる。この式は，遊休時間が存在せず編成効率が 100% となる

場合に限って LPS_a と LPS_c のサイクルタイムが等しくなり，編成効率が低下すれば見掛け上のサイクルタイム τ' が増加することを示している。

$$Ta+\sum_{i=1;\ i\in ST_k}^{n} d_k = Tb \equiv Tc = n\tau > 0 \tag{15.1}$$

$$E \equiv Ea = \frac{100Ta}{n\tau} \equiv \frac{100Tc}{n\tau'} = Ec \tag{15.2}$$

$$\tau' = \frac{100}{E}\tau \tag{15.3}$$

(16) 式はこれらの関係を用いて (14) 式で示した 1 製品当たりの総生産労務費 U_{labour} を新しい尺度に表現し直したものである。本式の特徴はサイクルタイム τ で生産される製品に要する労働費用がラインの編成効率を含んだ量に拡張されていることにある。ただし，この値は実際に支払われる賃金そのものを表していないことから，実生産費用を算出する場合には注意を要する。

$$U_{\text{labor}} = \frac{100}{E} \cdot \tau \cdot h_{\text{man}} \cdot \sum_{k=1}^{n} m_k \tag{16}$$

(3) 機械設備費用

前述したように Pinto らは機械設備費用の評価尺度を 1 日当たりの固定費用で表していたが，本研究では 1 製品当たりの機械設備固定費用で示される「単位生産固定費用」に置き換えた。

機械作業の作業要素番号の集合を MC, i 作業要素の機械台数を mc_i，年間計画生産量を Q (shell/year), i 作業要素機械の取得価格を UL_i (yen), 取得から耐用年数後の残存価格を SV_i (yen), i 作業要素機械の耐用年数を UL_i (year) とすると，単位生産機械設備費 U_{facility} は (17) 式で表せる。この量は，定額法による 1 年当たりの減価償却費を更に年間計画生産量で除して求めていることから，機械設備にかかる固定費用を操業期間の長さとは無関係に表現することができる。この点に機械価格と耐用年数のみで決まる固定費用を定義した Pinto らの尺度との相違があり，生産期間が 1 年の特定時期に集中し，なおかつ漁獲量等によって生産時間と処理量が大幅に変動する当該作業や他の漁業生産に対しては的確な評価尺度となっている。

$$U_{\text{facility}} = \sum_{i\in MC} \frac{(P_i - SV_i) \cdot mc_i}{UL_i \cdot Q} \tag{17}$$

(4) 作業システムの最適性評価

ホタテガイ 1 枚当たりに要する作業者と機械設備の「総単位生産費用 U_{total}」は (16) 式の 1 製品当たりの総生産労務費と (17) 式の単位生産固定費用との和として (18) 式のように表せる。この式は生産率 (サイクルタイム) と編成効率及び生産費用を全て含んでおり，これらの生産力に関係する要因の効果を単位製品当たりの生産費用として一律的に表現することができる。

$$\begin{aligned} U_{\text{total}} &= U_{\text{labor}} + U_{\text{facility}} \\ &= \frac{100}{E} \cdot \tau \cdot h_{\text{man}} \cdot \sum_{k=1}^{n} m_k + \sum_{i\in MC} \frac{(P_i - SV_i) \cdot mc_i}{UL_i \cdot Q} \end{aligned} \tag{18}$$

最終的に，最適作業システムの決定は，第 3 章で示した制約条件 I, II と次に示す制約条件 III の下で (18) 式の U_{total} を最小化する LPS として求めることができる。

制約 III 予定生産期間を T, 計画サイクルタイムを τ_{plan} とすれば, 生産時間上の拘束条件と作業者数及び機械台数上の拘束条件はそれぞれ (19.1) 式と (19.2) 式を満たさねばならない。

$$\frac{\sum_{i\in ST_k} t_i}{m_k} \leq \tau_{\text{plan}} ;\ \tau_{\text{plan}} = \frac{T}{Q} \tag{19.1}$$

$$m_k = \left\lceil \frac{\sum_{i\in ST_k} t_i}{\tau_{\text{plan}}} \right\rceil \tag{19.2}$$

ただし, 集合 ST_k と集合 MC の積の元となる作業要素番号 i ($i \in ST_k \cap MC$) の機械台数 (mc_i) は, 第 k ステーションの並列数と同数 ($mc_i = m_k$) とする。

これら関係式において T と Q 及び τ_{plan} を作業システムの外部変数と考えると, 要素作業時間と上述した各種費用は生産関係を記述するパラメータとなり, サイクルタイムと編成効率及び作業者配分数はこれらの変数によって変化する内部変数となる。このため着目する生産システムのパラメータを計測すれば, 3 つの外部変数によって張られる作業システム空間上の点に対応した最適な LPS が (18) 式と (19) 式群によって一意的に定められる。

更に (18) 式中の編成効率を除いた (20) 式 V_{total} は, LPS の単位製品当たりの実総単位生産費用として算出でき, 既存の生産費用の算定式では表現できなかった「変動する生産期間を持つ漁業生産の実態」を人件費と固定費分の実経費に反映させることができる。また, 従来の生産費用とこれらの新しい費用との比較のために Pinto ら (1975, 1981) が用いた生産費用の評価尺度 P_{total} を (21) 式に示す。ただし, (19.1) 式の条件下で比較するので Pinto ら (1975, 1981) が示した作業時間超過分の残業手当の項を省き, 価格に耐用年数を除していただけの固定費の項は減価償却費 (一日当たり) に修正した。またそれに併せて, $h_{\text{man}}^{\text{day}}$ (yen/day) は日給を表す労働単価とした。

$$V_{\text{total}} = \tau \cdot h_{\text{man}} \cdot \sum_{k=1}^{n} m_k + \sum_{i\in MC} \frac{(P_i - SV_i)\cdot mc_i}{UL_i \cdot Q} \tag{20}$$

$$P_{\text{total}} = h_{\text{man}}^{\text{day}} \cdot \sum_{k=1}^{n} m_k + \sum_{i\in MC} \left(\frac{(P_i - SV_i)\cdot mc_i}{365 \cdot UL_i} \right) \tag{21}$$

4-2. 生産パラメータの計測と設定

ライン編成 1994 年 5 月 23, 24 日に北海道噴火湾森町管内のホタテガイ養殖業者において行った作業研究の結果 (第 3 章), 当該作業は一定の作業要素時間分布を持つ 4 つの作業要素 (WE_1 から WE_4) で構成されており, その順序関係は $WE_1 < WE_2 < WE_3 < WE_4$ であった。また, 上記順序関係において制約条件 (I) を満たすライン編成は LPS_1 から LPS_8 までの 8 パターンとなることが明らかとなった。

計画生産量と期間及び実働時間 当該地区での分散・耳吊り作業は 3 月中旬から 5 月中旬までにかけて行われているが, 当該作業の操業日数や生産量は漁家によって様々であった。計測対象とした漁家は平均的な経営規模で, 1 日 8 時間の実働時間で 40 日間に 160 万枚のホタテガイを生産していたことから, 計画生産量 Q を 160 万枚, 予定生産期間 H を 1 日 8 時間労働で 40 日間とした。計画サイクルタイムに換算すると $\tau_{\text{plan}} = 0.72$ (s/shell) となる。

作業者数と機械台数 作業観測の結果, 穿孔機においては 1 台に 1 作業者の配置であったが, 他の作業に比べて作業時間が極端に短い選別機は 1 台に複数人が使用していたので, 選別機はどのような LPS

Table 5. Expenses of each machines and labor cost.

	Grader (Trommel)		Drilling machine	
Price (yen)	P_2	3,000,000	P_3	206,000
Scrap value (yen)	SV_2	3,000	SV_3	2,060
Useful life (year)	UL_2	4	UL_3	4
Labor cost (yen/s)			h_{man}	0.243
Daily wage (yen/day)				7,000
Hourly wage (yen/h)				800
Unit payment (yen/shell)				1.03

に対しても1台で十分な作業能力を備えているものとした。

生産諸費用　Table 5 に機械の取得価格 P，残存価格 SV，耐用年数 UL と時間給 h_{man}，及び雇用形態別平均労働単価を示した。各パラメータの添字は該当する作業要素番号である。雇用形態別平均労働単価は1994年8月に当該地区で行った30件の漁家調査に基づく値である。当該地区の雇用費は，雇用形態の違いによって日給や時給及び出来高給で支払われているが，これらの平均日給換算値はそれぞれ7,000円，6,400円，7,657円であった。また，出来高給であるテグス通し作業の労働単価は標準作業時間を用いて時間給に換算した値である。

本研究では作業者に8時間労働で日給7,000円の労務費用が支払われる場合のみを想定し，時間当たりの労務費用に換算した値 ($h_{man}=0.243$ (yen/s)) を用いた。

4-3. 結果と考察

Table 6 は，$\tau_{plan}=0.72$ (s/shell) における各 LPS ($LPS_1 \sim LPS_8$) の総作業者数，機械台数，サイクルタイム及び編成効率を (19) 式群と (13) 式から算出した結果である。Fig. 22 は Table 5, Table 6 の値を総単位生産費用 U_{total} と実総単位生産費用 V_{total} 及び Pinto らによる評価尺度 PT_{total} に当てはめて算出した結果である。図中の黒抜き部分は労務費用を，白抜き部分は機械設備費用を示している。

編成効率を含む U_{total} による評価では，8つの編成ライン中で最小費用となる LPS_5 が最適な作業シス

Table 6. Results of simulation with numbers of workers and machines manned to each work station for the eight available line production systems.

Work system	Cycle time τ (s/shell)	Efficiency of work element combination E (%)	Total workers Σm_k	The number of machines	
				Trommel mc_2	Drill mc_3
LPS_1	0.63	61.7	10	1	2
LPS_2	0.63	81.0	9	1	2
LPS_3	0.68	76.9	9	1	2
LPS_4	0.71	46.4	9	1	7
LPS_5	0.62	91.3	9	1	3
LPS_6	0.71	69.6	8	1	7
LPS_7	0.66	68.5	9	1	8
LPS_8	0.70	100	8	1	8

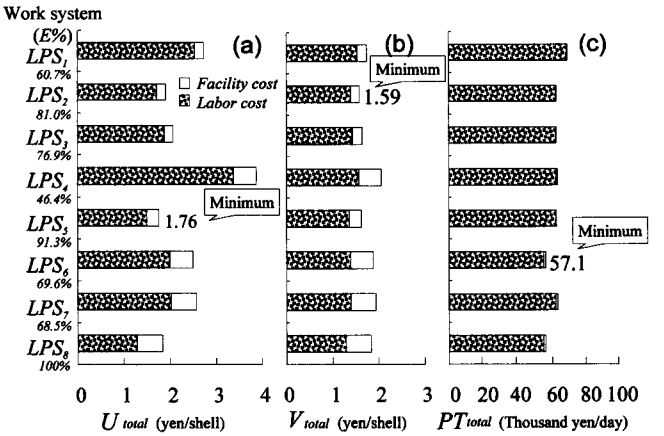


Fig. 22. Estimated production costs for each LPS_1～LPS_8 by U_{total}, V_{total}, and PT_{total}. White and black bar mean the machine cost and the wage per one product respectively. U_{total}, V_{total} and PT_{total} were indicated by eq. (19), (20) and (21) respectively.

テムとなる。これに対して編成効率を含まない V_{total} による評価は，U_{total} では LPS_5 の次に最適と考えられる LPS_2 が最小費用の作業システムとなる。両作業システムの編成状況を Fig. 23, Fig. 24 に示す。両者の総作業者数は等しく，LPS_5 の穿孔機台数が LPS_2 より 1 台多い結果になったが，LPS_5 は機械導入によって編成効率が向上したため機械設備投資に見合う生産効率が得られたと考えられる。新しい評価尺度 U_{total} では，各ステージの遊休時間が労務費用に換算されることによって実総単位生産費用 V_{total} では評価できなかった作業システムの編成効率と経済性が統一的に解釈できることが判った。

更にこの二つの作業システムの選択は，「経営上多少不利であるが効率的な作業システムを選択する」

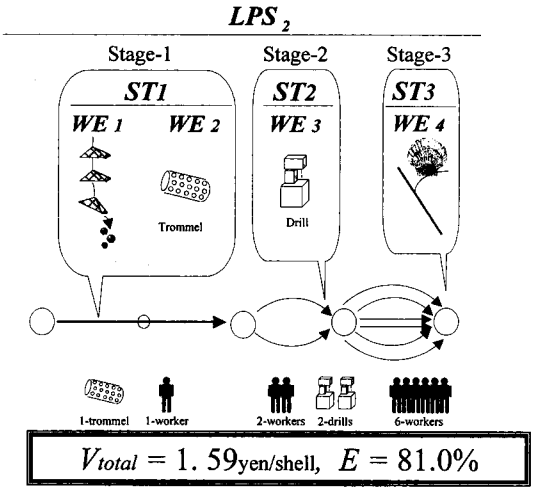


Fig. 23. The number of the manned workers and machines on LPS_5.

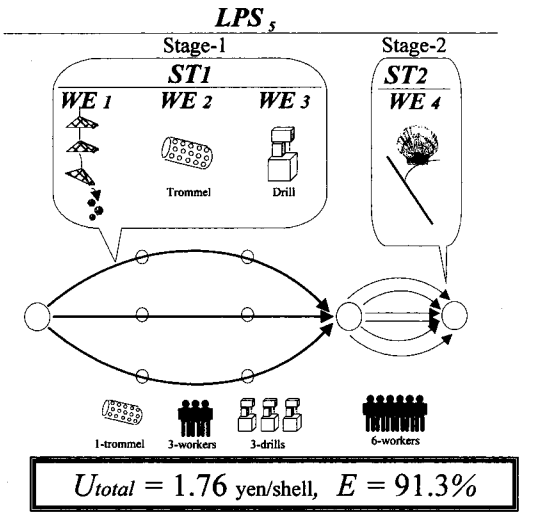


Fig. 24. The number of the manned workers and machines on LSP_2.

か，もしくは「効率は低いが低コスト作業システム」を選ぶかの経営戦略上の問題としても捉えることができる。計測を行った漁家では，LPS_5 の作業システムが経験的に選択されていたが，作業性と経済性が両立する作業システムが選ばれている点において U_{total} による評価が妥当であったと考えられる。

次に各評価尺度に占める労務費用と機械設備費用の関係について比較すると，U_{total} や V_{total} に比べ PT_{total} の機械設備費用の占める割合は労務費用より極端に小さく PT_{total} の評価による機械設備投入量の重みは実際の労働力投入量より過小に評価されていることが判る。このため，PT_{total} による最小費用作業システムとしては，LPS_5 に比べ総作業者数が1人少なく穿孔機台数が4台も多い Fig. 25 に示した LPS_6 が選ばれる結果となっている。このように PT_{total} によって当該作業を評価すると，機械設備費用を犠牲にしてまでも労務費用の少ない作業システムを選択することになってしまう。通常の減価償却費は「社会的平均的な操業強度と作業時間を予定する（大阪市立大学経済研究所，1992)」ことが前提とされているので，PT_{total} による評価は機械設備が通年稼動し耐用期間中の稼動量に見合う生産量を処理できる場合にのみ適合する尺度である。しかし，作業期間が特定の短期間に集中する当該作業の場合，耐用期間中の機械稼動量が少なく，かつ実際の生産量が耐用期間中稼動し続けた場合の生産量よりも遥かに少ないため，PT_{total} の評価では機械設備の「価値移転的減価（大阪市立大学経済研究所，1992)」が見掛け上多く見積もられ，機械設備の価値が低く見積もられることと同義になる。このため当該作業を含む上記の特徴を持つ漁業生産において PT_{total} による評価は適正とは言えないと考えられる。したがって，単位生産固定費用で表した $U_{facility}$ のように計画生産量によって変動する機械設備費用を評価基準においた尺度を用いる方が合理的であり，この点において U_{total} は PT_{total} よりも優れている尺度である。

新しい評価尺度 U_{total} を用いれば，作業改善を望んでいる作業システムのパラメータを計測するだけで生産率と生産費用が同時に満足される最適な作業システムを定めることができる。本研究では，地域や経営体ごとに異なる計画生産量，予定生産期間，標準作業時間，諸費用といった外部変数やパラメータを U_{total} に与えることによって，編成可能な当該作業システムの中から最適作業システムを決定できる評価法を提示することができた。

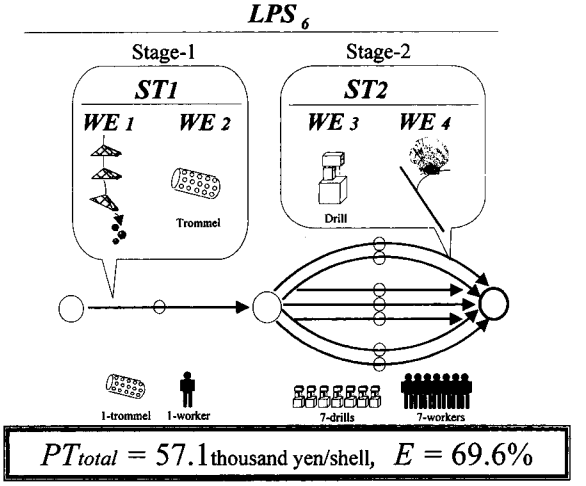


Fig. 25.　The number of the manned workers and machines on LPS_6.

5. 機械化の採算性評価

第2章でも論じたように分散・耳吊り作業には大量の雇用労働力を必要としてきた。他の養殖工程に比べ極めて生産性が低いからである。このような状況を受けて，近年当該作業の省人化が可能な「自動耳吊り機」の導入が進められるようになった。

1970年代すでにこの装置の発案 (間野, 1977) があったが，実際に生産現場での実用化は1990年以降となった。噴火湾渡島管内におけるある機種の販売数量を示したFig. 26に見られるように1993年以降急速に装置の導入が進んでいる。この装置の導入によって雇用節減による低コスト化が期待されるからである。しかし，耳吊り機は現有の養殖機械類に比べ大変高価であるため，その導入が養殖漁家の経営状態をさらに悪化させる可能性も危惧される。

一方，農業機械化論の分野ではあるが，機械化する場合，収支勘定からみて次の (22) 式が成立せねばその設備投資は経営状態を悪化させることが提言されている (川延, 1966)。

$$Ma + Ml < Ls + s + Em \tag{22}$$

ただし，機械化に伴う支出経費増加額を Ma，機械化に伴う損失額を Ml，雇用費支出節約額を Ls，生産手段の節約額を s，生産規模拡大又は機械化に伴う増収額を Em とする。

本章では，この概念に基づいて設備投資評価法を検討し，耳吊り機の導入が養殖経営体の経営改善策として成立するか否か分析することにした。以下，(22) 式を機械化条件式と呼ぶことにする。

機械化条件式は機械化前後の経営収支を反映させなければならないため，各項に該当する費用項目を決定し，概算する必要がある。しかし，機械化前後の当該作業システムが分析されない限り，費用項目の概算が行えない。そこで本章では，まず機械化前後の分散・耳吊り作業の作業システムの生産能力と作業者数と機械設備の配分関係を作業モデルによって解釈する。そして機械化条件式の概念に基づき経費項目を決定し，耳吊り機の経費節減効果の評価を行い，最後にその結果から機械化の採算性評価の際に留意しなければならない条件ついて考察する。

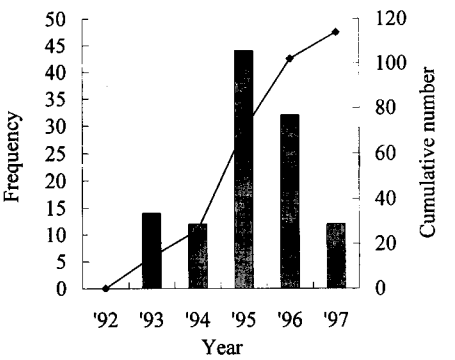


Fig. 26. The number of sold ear-hanging machines in Oshima region.

5-1. 機械化作業システムの編成

(1) 従来作業システム

分散・耳吊り作業は，第3章で説明したようにFig. 27.(a)に示す「取り出し作業」→「選別作業」→「穴開け作業」→「テグス通し作業」の連続した4つの作業要素で構成される作業である。また，「取り出し作業」→「分散作業」→「穿孔作業」は家族労働力に，「テグス通し作業」は雇用労働力に割り当てた流れ作業システムを形成していたが，理論上考えられる8通りの作業システムの内，生産現場で形成されている作業者配分が，ホタテガイが最も円滑に流れ，かつ経済的な作業システムであることが第3章，第4章で明らかとなった。ここでは，作業編成を上述した作業要素配分に固定して作業システムの生産能力と作業者配分の数量的な関係について検討する。

投下雇用労働者数を m_{labor}，テグス通し作業の標準作業時間（単位労力当たりの貝1枚を処理する作業時間）を t_{labor} (time/shell) とすると当該作業システムの生産能力（貝1枚を耳吊り状態にする生産時間）τ は (23) 式のようになる。以後 τ はサイクルタイムと呼ぶ。

$$\tau=\frac{t_{\text{tabor}}}{m_{\text{labor}}} \tag{23}$$

また，穿孔された貝1枚の生産時間が耳吊り状態になる貝1枚の生産時間であるサイクルタイム τ を上回ると，テグス通し作業が中断し（ブロック現象），雇用者に手待ち時間が発生するので家族労働力の生産能力は雇用労働力の生産能力を上回らねばならない。したがってブロック現象を防ぐために (24) 式の関係が成り立たつような家族労働力の配分を行わなければならない。ただし家族作業者数，取り出し作業の標準作業時間，分散作業の標準作業時間，穿孔作業の標準作業時間をそれぞれ m_{family}, m_{pearl}, $t_{\text{selection}}$, t_{drill} とする。

$$\tau\geq\frac{\sum t_i}{m_{\text{family}}};\ i=\text{pearl, selection, drill} \tag{24}$$

(23)，(24) 式から家族作業者と雇用作業者の配分関係が (25) 式のように成り立つ。

$$m_{\text{family}}=\left[\frac{\sum t_i}{t_{\text{labor}}}\cdot m_{\text{labor}}\right];\ i=\text{pearl, selection, drill} \tag{26}$$

このように当該作業の雇用労働力は生産能力に，家族労働力は雇用労働力に規定されるが，実際の投下作業者数は生産スケジュールを組み立てる上で最も重要な要因である計画生産量と予定生産時間から決定される。つまり計画した生産スケジュールを実現させるためには，予定生産時間内に計画生産量を処理することが可能な労働力を配分する必要があり，当該作業システムの生産能力（時間/貝）を意味する (23) 式のサイクルタイムが生産スケジュールに見合った値になることが必要である。(以下，生産スケジュールは計画生産量，予定生産期間を指すことにする) ここで，計画生産量，予定生産時間を Q, T とおくと，(26) 式が成り立つように労働力を配分せねばならない。なお，τ_{plan} を計画サイクルタイムと呼ぶ。

$$\frac{T}{Q}=\tau_{\text{plan}}\geq\tau \tag{26}$$

以上，設定したパラメータはすべて独立である。ここで，北海道噴火湾森町の養殖漁家で行った作業計測・調査結果を各パラメータに当てはめ，(23)，(25)，(26) 式を用いて作業システムを導く。

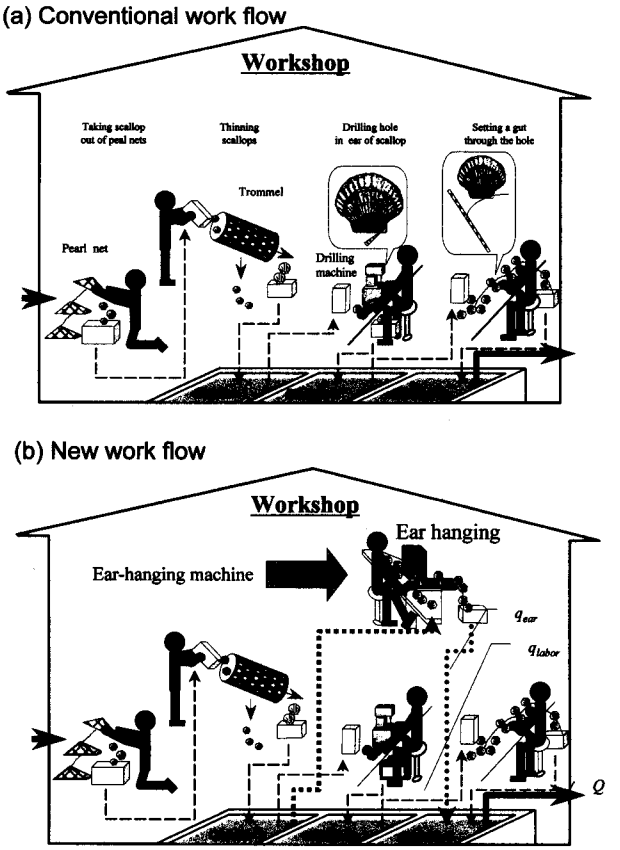


Fig. 27. Comparison between the conventional process and the mechanized one. Q (shell) : whole throughput, q_{ear} (shell) : produced amount by ear-hanging machine, q_{labor} (shell) : produced amount by ear-hanging workers.

計測した漁家では1日8時間労働 (T) で4万枚 (Q) のホタテガイを処理する生産スケジュールであった。各作業要素の標準作業時間の計測結果は Fig. 16 の値を用いる。また，当該作業で扱われるトロンメルの配分台数は，複合作業が可能かつ分散作業時間が他の作業要素に比べ極端に短いため，家族作業者数に問わず1台のみとする。穿孔機は1台に対し1作業者を要するので家族作業者数に対応することにする。

この機械設備と作業者数の関係を制約条件として，計画生産量，予定生産時間，各作業要素の作業時間計測結果を各式に当てはめ作業システムを導くと Fig. 28.(a) のようになった。この結果は観測した漁家の作業システムと一致している。

以上のように当該作業は流れ作業の原理に基づいた作業システムが形成されている。養殖漁家は，経験に基づき上記のような規則的な作業者や設備の配分を行っている。

(2) 機械類の発展と利用状況

当該作業の機械類は「手動操作式穿孔機 (Fig. 29)」→「半自動穿孔機 (Fig. 30)」→「全自動穿孔機 (Fig. 31)」→「自動耳吊り機 (Fig. 32)」のように発展してきた。ここではこれら機械類の操作性と処理能力の比較を行うと共に耳吊り機の利用状況について説明する。

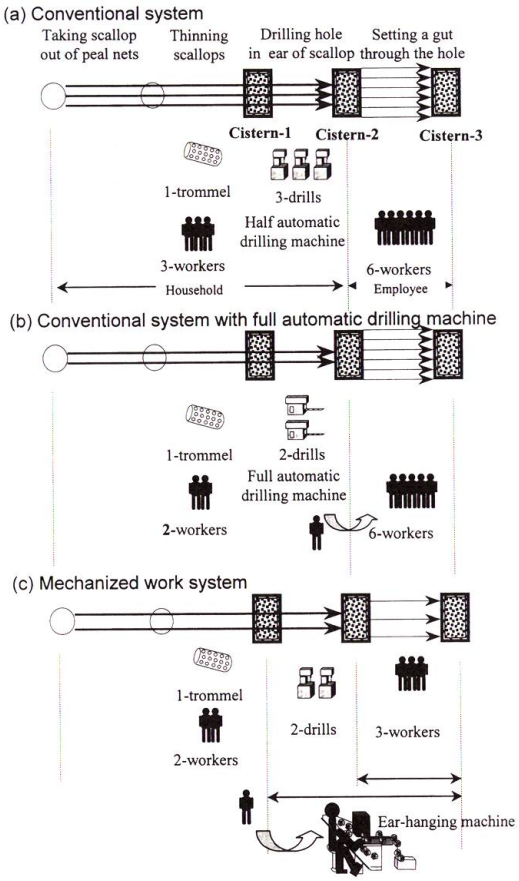


Fig. 28. Comparison of three work systems.

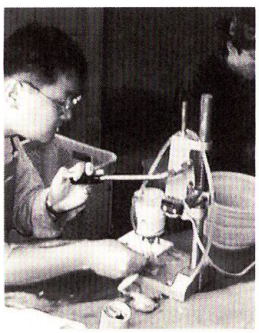


Fig. 29. Picture of a worker operating a prototypical drilling-machine.

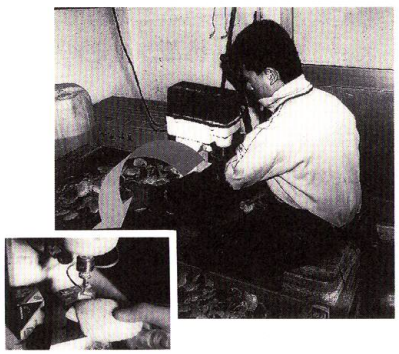


Fig. 30. Picture of a worker operating a half automatic drilling-machine.

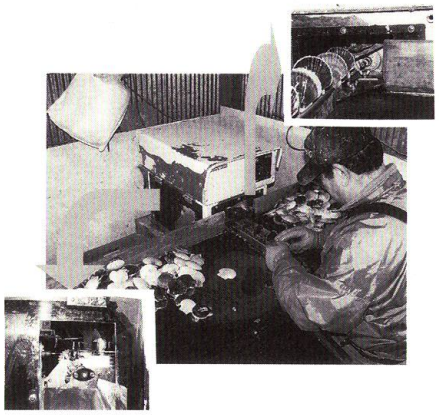


Fig. 31. Picture of a worker operating an automatic drilling-machine.

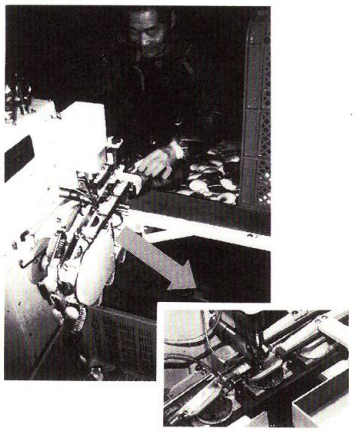


Fig. 32. Picture of a worker operating an ear-hanging machine.

手動操作式穿孔機を用いる場合，オペレータは片手でドリル部をハンドル操作し，もう片側の手でホタテガイ耳状部を固定台に挟み込んで作業を遂行しなければならなかったが，半自動穿孔機ではドリル刃の往復運動機能（毎秒 0.5～1.0 回）が導入されたため固定型枠との間に貝の耳状部を差し込むだけで作業が成立するようになった。しかし，この機械で迅速に作業を行うには，貝耳状部を差込む際にドリル部の動作に合わせて手早く正確に設置できる熟練したオペレータを要し，また，ドリル部がむき出しになっていることから素人の使用が危険であることが指摘されてきた。さらにほとんどの漁家では，即戦力である男性労働力が海上作業も従事せねばならないため，従来穿孔機作業は家族労働力が担う作業の中で最もネックとなっていた。一方，全自動穿孔機は，作業者が無端式回転ベルト上に備えられたボックス内に次々とホタテガイを立てるだけで，往復運動しているドリル部にホタテガイが移動し貝耳状部に開孔する仕組みになっている。そのため半自動穿孔機より操作が簡易化され，さらにオペレータの熟練を問わず作業の高速化を可能にし，また，操作が安全であることから女性作業者や老齢作業者にも穿孔作業に無理なく配置させることができるようになった。標準作業時間はオペレータの使用期間によっても変わるが，経験年数の少ない女性オペレータにおいてもその作業時間は熟練したオペレータが従来型穿孔機を用いた標準作業時間より短縮している（Fig. 33)。そのため，全自動穿孔機への更新によって，例えば Fig. 28.(a) で示した 6 人の雇用労働力を稼動させるのに必要な家族労働力配分が，(25) 式で導くと Fig. 28.(b) のように 2 人となり，余った 1 人の家族労働力がテグス通し作業に配分できるようになった。しかし，この程度の作業システムの再編では全自動穿孔機の機械価格が従来型穿孔機の 20 万前後から 120～180 万と跳ね上がっていることを考慮すると直接的な経営改善に繋がるとは評価し難い側面もある。

他方，自動耳吊り機は，「穿孔作業」と「テグス通し作業」を同時処理できる装置として登場した。この機械操作は，オペレータが手で 2 枚のホタテガイの耳状部と養成綱を重なるように固定器に挟み，足元のフットスイッチを踏むことによって貝耳状部と養成綱をドリルで開孔し，その孔にテグスを通し完了するようになっている。これまで労力をかけて行ってきた「穿孔作業」及び「テグス通し作業」の処理を簡単な操作で仕上げることができ，さらに標準作業時間も穿孔作業とテグス通し作業の標準作業時間和より大きく短縮され（Fig. 33)，雇用労働力の節減を可能にしている特徴が売りになっている。しか

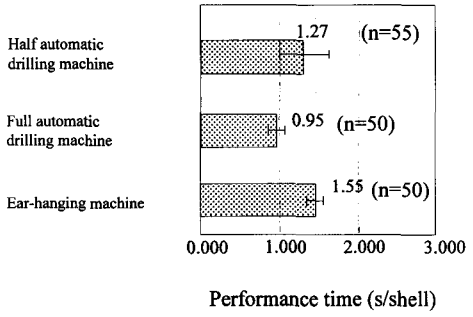


Fig. 33. Comparison in performance among the three machines.

し，機械価格が380～500万円と高価であることに加え，精度の高い機械処理を作業期間中維持する必要があるために毎年徹底した機械点検・整備が必須となる。このため，保守・維持等の設備コストの上昇を免れない側面を持ち合わせている。年間のメンテナンス費は，機械価格の約5%がおおよその基準とされている。しかし，その額は機械の損耗・故障状況によって異なるため約15～約30万円と大きな差が生じている。

このように自動耳吊り機の導入は設備経費が高騰する恐れがあるため，雇用節減を図るために積極的に購入する漁家がある一方，そうでない漁家も実在する。また，経営規模の大小によってもともと雇用労働力の投下量は大きく異なっていることもあり，購入する漁家ごとに耳吊り機の投入台数は異なっている。雇用労働力をすべて耳吊り機に置き換えた（完全機械化した）漁家は2家確認しているが，耳吊り機を購入した漁家のほとんどは雇用労働力と併用している状態である。

(3) 機械化作業システムの決定法

自動耳吊り機の導入によって雇用節減は可能であるものの，先述したように生産現場では自動耳吊り機は全ての雇用労働力に置き換わっていないケースが多い。したがって機械化作業システムを決定するには耳吊り機の投入台数と雇用作業者の配分を組み込んだ作業モデルを考える必要がある。

まずFig. 27(b)に示すように耳吊り機導入後の作業要素間に流れるホタテガイ枚数に着目した。ここで雇用者及び耳吊り機の処理量を q_{labor}, q_{ear} (shell) とすると全処理量 Q (shell) は (27) 式のように表される。

$$Q = q_{\mathrm{labor}} + q_{\mathrm{ear}} \tag{27}$$

次に耳吊り機の購入台数を m_{labor}, 1人当たりのテグス通し単位作業時間及び1台当たりの耳吊り機単位作業時間を t_{labor}, t_{ear} (time/shell), 全稼働時間を T (time) とするとそれぞれの処理量と全処理量の関係は (28), (29) 式のようになる。

$$q_{\mathrm{labor}} = \frac{m_{\mathrm{labor}}}{t_{\mathrm{labor}}} \cdot T \tag{28}$$

$$q_{\mathrm{ear}} = \frac{m_{\mathrm{ear}}}{t_{\mathrm{ear}}} \cdot T \tag{29}$$

(28), (29) 式を (27) 式に代入すると Q は (30) 式のように表される。

$$Q=\left(\frac{m_{\text{labor}}}{t_{\text{labor}}}+\frac{m_{\text{ear}}}{t_{\text{ear}}}\right)\cdot T \tag{30}$$

ここで貝1枚が耳吊り状態になる見かけ上の処理時間 τ (time/shell) は (30) 式を展開し (31) 式のように考えることできる。

$$\tau=\left(\frac{m_{\text{labor}}}{t_{\text{labor}}}+\frac{m_{\text{ear}}}{t_{\text{ear}}}\right)^{-1} \tag{31}$$

したがって，(26)，(31) 式の関係から計画サイクルタイムと耳吊り機の投入台数と必要雇用者数の関係は (32) 式のようになる。この雇用者数は，耳吊り機が予定生産時間内で計画生産量を処理できない貝を処理するために必要な数である。

$$m_{\text{labor}}=\left\lceil\left(\frac{1}{\tau_{\text{plan}}}-\frac{m_{\text{ear}}}{t_{\text{ear}}}\right)\cdot t_{\text{labor}}\right\rceil \tag{32}$$

一方，雇用労働力が処理する貝の量 q_{labor} を穿孔作業まで仕立て上げる必要な家族作業者数 m_{family} は (33) 式の関係で成り立たねばならない。

$$\frac{T}{q_{\text{labor}}}\geq\frac{\sum t_i}{m_{\text{family}}};\ i=\text{pearl, selection, drill} \tag{33}$$

したがって (28) 式を (33) 式に当てはめ展開すると，耳吊り機を操作するオペレータ以外の家族労働者数は (34) 式のように表される。

$$m_{\text{family}}=\left\lceil\left(\frac{Q}{T}-\frac{m_{\text{ear}}}{t_{\text{ear}}}\right)\cdot\sum t_i\right\rceil;\ i=\text{pearl, selection, drill} \tag{34}$$

Fig. 28.(c) は (a) の従来作業システムと同じ計画生産量と予定生産期間を用い導いた耳吊り機1台を導入した機械化作業システムである。このように比較すると耳吊り機を導入することで3人の雇用労働力が削減されていることが判る。しかし，雇用者の節減数と投入台数の関係式 ((32) 式) は非線形関数なので，Fig. 28.(c) のように1台投入したからといって雇用者が常に3人節減できるとは限らない。

以上のように耳吊り機導入を用いた機械化作業システムは，(27)〜(34) 式の関係で作業者と設備が配分されると考える。

5-2. 機械化作業システムの経費節減効果の分析

(1) 設備投資の評価指標

機械化条件式 (22) の右辺項と左辺項の差は機械化が及ぼす収益の変化分を示すため，これを設備投資の評価指標 (ΔC) として設定することができる。ただし，ホタテガイ養殖業では近年漁場が過密状態になっているため機械化後増産しないこと，耳吊り機導入後の損失額は現時点では予想不可能なため発生しないことを前提とする。したがって，機械化条件式で示されている Em と Ml の項を省いた両辺の差 ΔC を耳吊り機投資案の評価指標とする。ここで ΔC は耳吊り機導入後の経費節減額を示すことになる。これを (35) 式に示す。

$$\Delta C=Ma-(Ls+s) \tag{35}$$

このように (35) 式の各項は，耳吊り機導入前後で増加，節減される費用であるから，可変費用 (固定

費用と変動費用との概念とは異なり，ある方策によって変化する費用項目のこと（伏見・千住，1974)）項目を当てはめることで表すことができる。可変費用項目は耳吊り機導入前後の機械の償却費，設備付帯費，運転費の増加額及び材料費，労務費の節減額が考えられる。これらの項目は当該作業における機械化前後の1期（1年）当たりの経費から算出される差額で評価する（以下，年価差額と呼ぶ)。ただし，機械の償却費は，財務会計で扱われる減価償却費ではなく，資金の時間的価値（割引など）を考慮した年平均価値で評価する（機械の償却費の年価は，資本を固定化するとき，投資した資金の現在価値が時間的価値の割り増しによって投資効果のおよぶ最終時点の価値になるまでの年平均値を指す（伏見・千住，1974))。

ここで機械の償却費，設備付帯費，運転費，材料費，労務費の年価差額を，それぞれ $C_{\text{depreciation}}$, $C_{\text{maintenance}}$, C_{run}, C_{material}, C_{labor} とすると ΔC は (36) 式のように表される。

$$\Delta C=(C_{\text{depreciation}}+C_{\text{maintenance}}+C_{\text{run}})-(C_{\text{material}}+C_{\text{labor}}) \tag{36}$$

これらの各項を計算することで，耳吊り機導入後の経費節減効果が評価できる。

(2) **可変費項目の年価差額の計算法**

労務費　耳吊り機が処理できる量 q_{ear} 分に支払われていた雇用費が耳吊り機導入後の雇用節減費になる。したがって，ホタテガイ1枚当たりに掛かる雇用費（労働単価）を h_{labor} とすると耳吊り機 m_{ear} 台投入後の労務費の年価差額（雇用節減額）は (37) 式のように表すことができる。

$$C_{\text{labor}}=q_{\text{ear}}\cdot h_{\text{labor}}=\frac{m_{\text{ear}}}{t_{\text{ear}}}\cdot T\cdot h_{\text{labor}} \tag{37}$$

ただし完全機械化 ($m_{\text{labor}}=0$) の場合，(38) 式のようになる。

$$C_{\text{labor}}=Q\cdot h_{\text{labor}} \tag{38}$$

機械償却費　機械償却費の年価差額は耳吊り機を導入するための資金の1期（年）当たりの平均値となる。ただし資金の時間的価値が含まれるため，耳吊り機の取得価格 P_{ear} に資本回収係数（中島，1971）を乗じた値になり (39) 式のように示される。自己資金でも同じように表される。

$$C_{\text{depreciation}}=P_{\text{ear}}\cdot m_{\text{ear}}\cdot\frac{j}{1-(1+j)^{n_{\text{ear}}}} \tag{39}$$

n_{ear}, j は，耳吊り機の資金を調達するための償還年数，利率である。ただし，自己資金の場合は使用年数と標準利率を当てはめる。

設備付帯費　設備付帯費とは修繕費，維持費など設備に付帯する費用を意味し，ここではその年価を取得価格に設備付帯率 ε を乗じた値と定義する。耳吊り機導入後も穿孔機を使用することを考えれば，設備付帯費の年価差 $C_{\text{maintenance}}$ は (40) 式のようになる。ただし，従来作業時と導入後の穿孔機台数は m_{drill} 及び m_{family} とする。

$$C_{\text{maintenance}}=(P_{\text{ear}}\cdot m_{\text{ear}}+P_{\text{drill}}\cdot(m_{\text{family}}-m_{\text{drill}}))\cdot\varepsilon \tag{40}$$

従来作業システムの穿孔機台数 m_{drill} は (41) 式で求まり，m_{family} は (26) 式で示されている。これらを (40) 式に代入すると $C_{\text{maintenance}}$ は (42) 式のように示される。

$$m_{\text{drill}}=\left\lceil\frac{1}{\tau_{\text{plan}}}\cdot\sum t_i\right\rceil;\ i=\text{pearl, selection, drill} \tag{41}$$

$$C_{\text{maintenance}}=\left[P_{\text{ear}}\cdot m_{\text{ear}}+P_{\text{drill}}\cdot\left(\left[\left(\frac{1}{\tau_{\text{plan}}}-\frac{m_{\text{ear}}}{t_{\text{ear}}}\right)\cdot\sum t_i\right]-\left[\frac{1}{\tau_{\text{plan}}}\cdot\sum t_i\right]\right)\right]\cdot k\;;\; i=\text{peal, selection, drill} \tag{42}$$

材料費 従来作業及び耳吊り機で使用するテグス単価 (ただしテグス1本には2枚の貝が吊るされる) を b_{labor}, b_{ear} とすると，材料費の年価差額は (43) 式のようになる。

$$C_{\text{material}}=(b_{\text{labor}}-b_{\text{ear}})\cdot\frac{m_{\text{ear}}}{2\cdot t_{\text{ear}}}\cdot T \tag{43}$$

ただし完全機械化の場合，(44) 式のようになる。

$$C_{\text{material}}=(b_{\text{labor}}-b_{\text{ear}})\cdot\frac{Q}{2} \tag{44}$$

運転費 運転費は機械の消費電力費とする。穿孔機，耳吊り機の単位時間消費電力量を r_{drill}, r_{ear}, 電力単価を e, 穿孔作業の標準作業時間を t_{drill} とすると従来作業と耳吊り機導入後の運転費年価 C'_{run}, C''_{run} は (45), (46) 式のように表すことができる。

$$C'_{\text{run}}=r_{\text{drill}}\cdot t_{\text{drill}}\cdot e\cdot Q \tag{45}$$

$$C''_{\text{run}}=r_{\text{drill}}\cdot t_{\text{drill}}\cdot e\cdot(Q-q_{\text{ear}})+r_{\text{ear}}\cdot t_{\text{ear}}\cdot e\cdot q_{\text{ear}} \tag{46}$$

したがって，運転費の年価差額は (47) 式のように表すことができる。

$$C_{\text{run}}=C''_{\text{run}}-C'_{\text{run}}=(r_{\text{ear}}\cdot t_{\text{ear}}-r_{\text{drill}}\cdot t_{\text{drill}})\cdot e\cdot\frac{m_{\text{ear}}}{t_{\text{ear}}}\cdot T \tag{47}$$

ただし完全機械化の場合，(48) 式のようになる。

$$C_{\text{run}}=(r_{\text{ear}}\cdot t_{\text{ear}}-r_{\text{drill}}\cdot t_{\text{drill}})\cdot e\cdot Q \tag{48}$$

(3) 諸生産費用項目の推定

以上のように ΔC は諸生産費用項目の単価，標準作業時間，機械設備数から算出できる。ここで諸生産費用項目の単価を決める。

テグス通し作業に配置された雇用者は養成綱に取り付けられた125本のテグスに開孔された貝を2枚づつくくり付ける。雇用者への雇用費支払形態は，ほとんどの養殖魚家が養成綱1本ごとに支払われる出来高払いを採用している。したがって，労働単価は出来高払いの平均単価を採用することにする。テグス通し作業での貝1枚当たりの単価に換算すると1円前後である (Table 7)。また，養成綱1本にテグス125本を取り付ける養成綱仕立てにも雇用費が支払われるため，労働単価 h_{labor} を出来高払いと養成綱仕立ての平均単価の和とする。ただし，養成綱仕立ては当該作業期間外に行われている。

耳吊り機及び穿孔機は機種によって価格，能力が異なる。また，作業時間も異なることが予想される。作業時間の推定値はカタログに記載されているが，その記載作業時間には幅があり，標準作業時間を決定することができない。したがって，本論では作業時間の計測を行った機種のみを対象とする。耳吊り機の耐用年数 n_{ear}，調達資金の利率 i は漁業近代化資金で定められている値と民間金融機関の例を用いる。なお，自己資金については触れないことにする。

設備付帯率 k は機械販売店の聞き取り調査を参考に，消費電力 r は機械類を電力計で計測した値を用

いることにする。これらの生産諸費用とそれに関する項目を Table 8 に示した。

(4) 耳吊り機導入後の経費節減評価額

北海道噴火湾森町における分散・耳吊り作業の1漁家当たり処理枚数（生産量）は，80万枚～300万枚とさまざまである。また，作業期間は出荷の自主規制が発動される3月期中旬からホタテガイ成貝が放卵する5月期までの約2ヶ月が基本となっている。しかし，出荷規制が4月にずれ込み当該作業の開始が遅れることや，時化のため操業不能になる日も少なくないことを考慮すると，この期間において40日を越える作業日数の確保は困難であると考えられるが確定できない。ここでは養殖漁家による生産量や操業時間の差を考慮して，計画生産量 Q (sehll) を80万枚と240万枚，操業時間 T を240時間と480時間とした4つの組合せの生産スケジュール A (80万枚，480時間)，B (80万枚，240時間)，C (240万枚，480時間)，D (240万枚，240時間) を想定し，耳吊り機の経費節減効果を検討する。

Fig. 34, Fig. 35 は，耳吊り機導入のために，それぞれ漁業近代化資金（償還期間10年，利率3.2%)，民間金融機関（償還期間5年，利率7.2%）の資金を調達した場合の A, B, C, D の生産スケジュールにおける年価差額を計算した結果である。計算は Table 8 のパラメータ値及び標準作業時間を各年価差額の計算式 ((36)～(48) 式) に代入して行った。ただし，運転費はその他の経費項目に比べ微少であったため省いた。また，それぞれの生産スケジュールにおける最多投入台数は雇用者を全て排除した完全機械化の最小台数を意味する。

ここで Fig. 34 から生産スケジュールと耳吊り機投入台数の節減効果を検討する。年価差額合計値 ΔC を比較すると，各生産スケジュールごとに最大節減効果を及ぼす耳吊り機投入台数が異なることが判る。

Table 7. Unit payment to ear-hanging worker.

	The number of investigated fishery households	Average payment to an ear hanging line (yen/braided line)	Average payment per one shell (yen/shell)
Ear hanging work	14	257	1.028
Work of setting a nylon line to a braided line		100	0.4
Total	14	357	1.428

Table. 8. Values inputted into the parameters of eq. (36)～(48)

	Ear-hanging machine		Half automatic drilling machine		Unit
Acquisition cost	P_{ear}	45,000,000	P_{drill}	206,000	yen
Electric power	r_{ear}	0.558	r_{drill}	0.074	kW
Unit fastener	b_{ear}	0.25	b_{labor}	0.2	yen
Term of redemption	n_{ear}	10*1		5*2	year
Rate of interest	j	3.2*1		7.2*2	%
Rate of maintenance	k		5		%
Unit labor cost	h_{labor}		1.428		yen/shell
Unit electric cost	e		19.85		yen/kWh

*1 Fishery modernization found (5, November, 1996).
*2 An example private found.

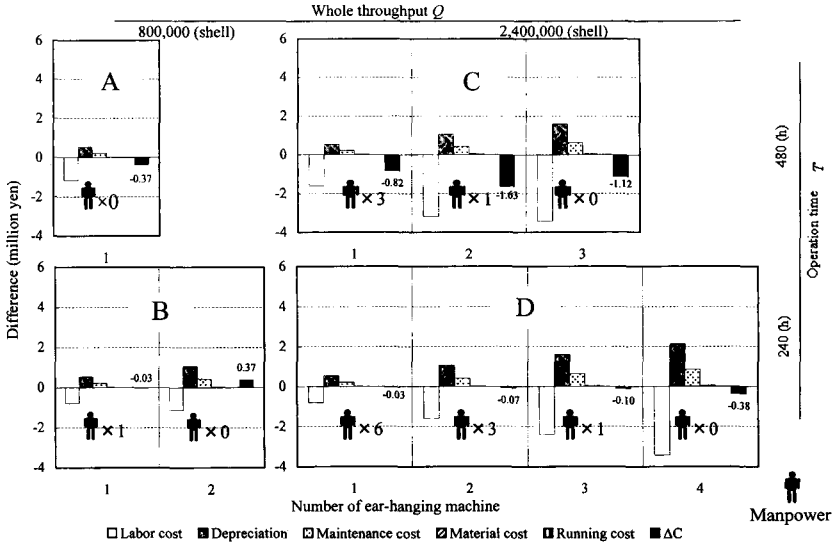


Fig. 34. Differences between the conventional work system and the new work system, which are calculated under rate of interest as 3.2%.

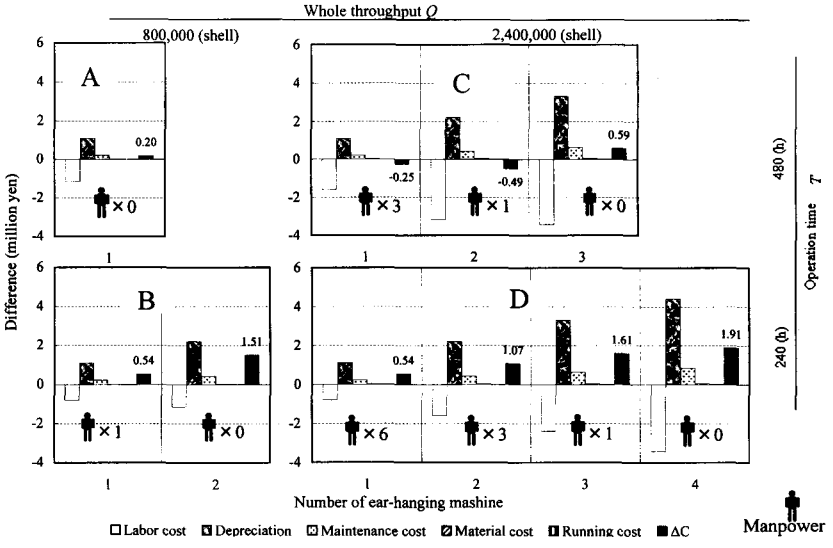


Fig. 35. Differences between the conventional work system and the new work system, which are calculated under rate of interest as 7.2%.

A, B は 1 台，A, B の 3 倍の生産量である C, D はそれぞれ 2 台，4 台となっている。このように生産量が大きくなると最大節減効果を及ぼす投入台数も多くなる。そこで同じ生産量の生産スケジュール C, D の 1 台当たりの ΔC を比較すると，C では ΔC/1 台＝約 82 万円に対し予定生産時間が C より短い D では ΔC/1 台＝約 3 万円にしか至らない。この結果より，計画生産量が大きいほど耳吊り機の複数投下によって経費節減効果が大きくなるが，予定生産時間が短かければ投入 1 台当たりの ΔC が小さくなる傾

向が推察された。逆にこれは，機械償却費や設備付帯費といった固定費用の年価差額が投入台数 (m_{ear}) を変数とした増加関数であるのに対し，労務費，材料費，運転費といった変動費用の年価差額が互いに独立な投入台数 (m_{ear}) と予定操業時間 (T) を変数とした減少関数になっていることからも説明できる。したがって，生産規模に応じて適度な耳吊り機台数 (例えば生産量 80 万枚では 1 台，240 万枚では 2 台以内) を保持し，当該作業の操業時間のスケジュールを C のようなレベルでできるだけ長く調整できる漁家では機械化条件式が十分に満足すると考えられる。

次に資金調達の側面から検討してみる。Fig. 34, Fig. 35 を比較すれば判るように，民間金融期間からの資金調達を想定すれば耳吊り機投入による節減効果が急落する結果となる。これは，民間金融機関の資金調達では機械の償却費の資本回収係数が高くなるため，漁業近代化資金よりも耳吊り機 1 台当たりの償却費が増額するからである。結果，民間金融機関の資金調達 (Fig. 35) を想定した場合，C を除く生産スケジュール全てで投入台数に関わらず年価差額合計が増額 $\Delta C>0$ となった。A, B では 80 万枚の生産量を耳吊り機 1 台のみで全て処理したとしても機械の償却費の増額分を雇用費節減額が補えなくなる。また，生産規模が大きくても D のように予定生産時間が短い場合，1 台の購入においても経費増加を招くことが示された。このように耳吊り機導入のために民間金融機関の資金を調達した場合を想定すると，C のように生産規模が大きく長時間作業を行っている漁家では経費節減効果があるものの，その額は漁業近代化資金の効果よりも小さく，また，A, B のような小規模生産の漁家や D のような生産規模が大きくても長い予定生産時間を調整できない漁家では節減効果がないことが判った。

5-3. 考察

(1) 評価方法について

本章では，耳吊り機導入の採算性を評価する ΔC は，(22) 式の概念に基づくものでありながら，(22) 式の項から生産規模拡大に伴う増額 E の項を省いて構成した。これは，近年ホタテガイ養殖業では過剰生産，養殖漁場の高密度化が深刻化しており，経営管理課題に生産規模の縮小が挙げられているからである。また，一般的に機械投資案は増産，省人化，省力化という複数の目的を有している場合が多いが，耳吊り機の導入目的を省人化 (＝生産コスト節減) のみであると仮定したからである。

「生産量の拡大を招かない」かつ「生産コストを節減する」機械化を検討する場合，損益分岐解析による説明も考えられる (並木ら，1985)。損益分岐解析では，「機械化→固定費の増加→損益分岐点の上昇」の場合，収益性が低下するため増産を招くとされているが，「機械化→変動費用の減少→損益分岐点の下降」が成り立てば収益性が向上するため増産指向にならない機械化が成立することが言えるからである。ただし，機械化後の製品単価は落ちないという仮説に基づかなければならない。しかし，当該作業では，機械化作業システムのモデルで示されたように，耳吊り機導入後の必要な雇用者数 (変動費用) が生産量だけでなく予定生産時間の調整においても変化するため，損益分岐解析のような生産量のみを変数とする単純な費用関数の直線を描かない。また，生産量，生産時間を変数とした 3 次元関数の表現ができるが，複雑な非線型関数となり簡単には説明できなくなる。したがって本章では，生産規模拡大に伴う増額 E を省いた機械化条件式の概念に基づき，耳吊り機導入後の経費節減額を評価する指標 ((36) 式) を設け，個々の漁家の生産スケジュール格差と投入台数及び調達資金を考慮しつつ，4 つの事例から耳吊り機の投資案が成立するか否かを検討した。

(2) 採算性評価の課題

評価結果から調達資金や生産規模だけでなく操業時間が経費節減効果に影響を及ぼすことが判った。

操業時間は出荷作業の終了期や操業不能日数によって変化する反面，ホタテガイへのダメージを考慮した作業適期間に制約される。そのため，想定した操業時間は必ずしも妥当な値ではない。ただ，本章で想定した操業時間 (240 時間) を下回るようであれば耳吊り機の導入は危険であると言え，逆に操業時間を可及的に稼ぐことができれば経費の節減効果は大きくなると言えよう。

また，機械の償却費は調達資金の償還年数と利率を当てはめて評価したが，この評価はあくまで実際のキャッシュフローに近い値で経費節減額を捉えようとしたからである。しかし，これは償還年限間の評価でしかない。本来，設備投資の年平均額を見積もる場合，耐用年数に基づいて試算されなければならなく，また，毎年償却されると考えた場合，年平均額は耐用年数の長短が問題になるからである。しかし，法定耐用年数では養殖設備を一律に 4 年と定められていることもあり，耳吊り機のような個別機械設備の物理的な耐用年数は決定されない。さらに耐用年数は日々の維持管理にも影響し，ユーザーの意志決定に委ねられる側面が強く，一意的に判断できない。したがって，このような確定できない要因，例えば操業時間や耐用年数も説明変数として生産パラメータに包括的に取り込みつつ，経費節減効果の評価法を考えてみなければ，機械化作業システムが養殖経営の改善につながるか否かは判断できない。この点は次章で進めることにする。

6. 機械化の成立条件

第5章では，耳吊り機の導入後，機械稼働量を大幅に増加させればより多くの人件費の節減が可能となること，機械使用年数を延伸させることで投資効果が見かけ上向上することが量的に示された。しかし，養殖作業には適期適作業といった操業時間の上限が必ずあり，また，耳吊り機の導入には，人件費の節減が図れる一方で，使用期間の増加に伴い機械維持費が増加する。このため機械化の意志決定には，第5章のような機械化前後の単純な収支分析だけでなく，作業適期に関する条件と機械維持費の増加傾向分析を包含した評価法を構築して用いる必要があると考えた。

本章では，設備の初期投資コストと維持費の時間的変化の関係から経済的耐用年数を求める「MAPI式の設備更新分析法（以下，略してMAPI法とする）(Terbough, 1949；清水，1962)」を第5章の研究成果に付加し，次いで耳吊り機の導入によって経費節減が実現できる生産規模及び機械稼働時間とMAPI法で用いられる稼働劣性度との関係を理論的に展開して，機械化が成立する稼働劣性度範囲を定量的に表現した。最終的に機械化が必ず成立する条件と大規模経営体においても機械化が不成立になる条件があることを明示し，機械化に際する養殖経営の設備管理の重要性について考察した。

6-1. 分析対象作業の現状

(1) 耳吊り機導入による養殖作業の変遷

耳吊り機の導入が進んでいる分散・耳吊り作業 (Fig. 36.(a)) は，丸かごやザブトンかごと呼ばれる養成かごで中間育成した稚貝をサイズ選別した後，本養成の耳吊り状態にする陸上作業である。当該作業工程は従来から手作業で行われており，当該養殖作業中で最も経済的負荷と投入労働量が大きい工程であることが指摘されている。特にホタテガイを最終的に耳吊り状態にする「テグス通し」作業には手間と人手が必要で，量産体制に入って以来この工程のみに多くの雇用労働力が投下されてきた特徴（経営規模に比例して200～500万円の雇用費が支払われている）がある。一方，近年の自動耳吊り機は単能的な穿孔機を用いて処理していた貝耳状部の「WE_3：穿孔」作業と「WE_4：テグス通し」作業の2工程を合併して自動処理できるため，この装置を導入することでFig. 36.(b)のように雇用労働者数の節減が可能となり，さらに工程数の短縮から貝の陸上滞在時間が短くなるというメリットも得られている。しかし，その一方で耳吊り機を購入した漁家では機械稼働量をできるだけ多く稼ぐために，作業適期を越えて当該作業期間を長期化させる傾向にある。このように耳吊り機の導入は単位時間処理能力を向上させる反面，作業期間の延伸を誘発し，適期期間外に仕立てたホタテガイの生理的減耗による生存率の低下を生じさせて，最終的には機械化の投資効果を不確実なものにすることが予見されている。

(2) 対象機械と管理状況

耳吊り機の運用は特定短期間の作業期間内において可及的処理量を増加させるために期間内の機械稼働時間を最大化する傾向にある。このため作業期間中の故障や休止を防止する目的で，当該作業開始までに消耗部品や故障部品を交換するなどの徹底した点検や整備及び調整が，販売元又は修理業者によって行われている。この維持作業に支払われる費用は，機種と破損状況によって異なるものの，おおよそ販売価格3.8～5百万円に対して毎期13～50万円にも及んでいる。

本研究では1993年に販売された4.5百万円の耳吊り機を研究対象としたが，基本整備項目に従ったそのサービス料金は15万円と定められている。しかし，実際には整備項目以外に摩耗・故障が発生するた

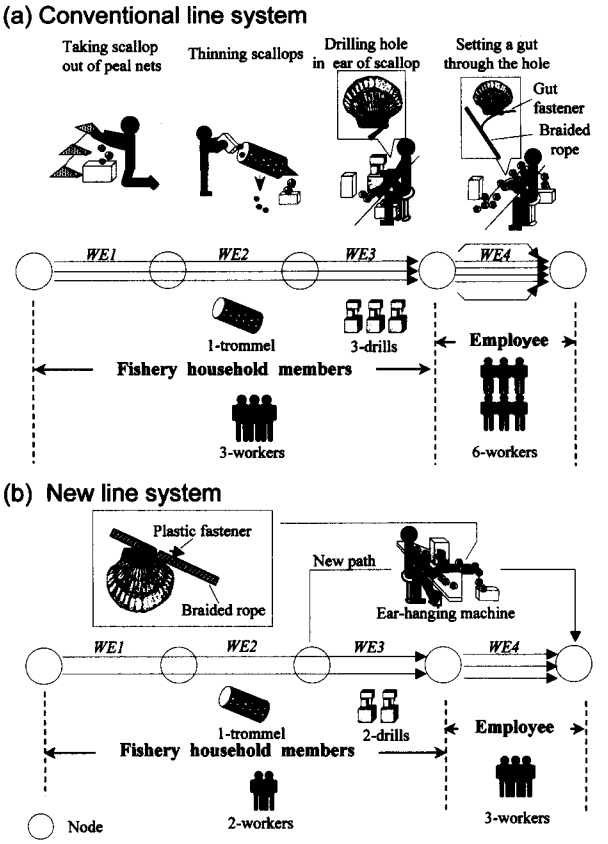


Fig. 36. Schematic diagrams of typical conventional line system and new one of the thinning and ear hanging work.

め，1993年から97年に稼働した114台の平均修理費は20万円を上回り，利用年数の増加に伴いこの費用は僅かながら上昇する傾向にあることが判った (Fig. 37)。5年目までの全機の年平均修理費は21.7万円である。また，交換された部品の7割以上は1万円以内のものであるが，10万円を越える単品部品も交換されており，実際にこれらの部品交換が生じた例が2年目と5年目にそれぞれ2件と1件ある。Fig. 37. を見て判るようにそれらの漁家では当年度の修理費だけで30万円を越えている。このような交換件数が機械の高齢化に伴い増加すると，6年目以後の機械維持費は優に21.7万円は超過することが予想される。さらに5年目までに交換経験のある全部品が一度に交換されるとすれば，その時の機械維持費は66.8万円となり，これを考慮すると，使用年数の増加に伴い40万円や50万円を越える可能性も予見される。

機械の更新もしくは廃棄の決定は機械的劣化に伴う機械維持費の負担が膨大になるか現行機械の能力や機能を大きく上回る新機械の市場投入状況によって下されると考えられるものの，現在のところ，自動耳吊り機に関してはこのような更新例は無く，また，廃棄は経営不振による廃業時に行われた例以外には見当たらない。耳吊り機を購入した漁家では，機械維持費は逓増していくものの，長期的に機械を利用するものと考えられる。したがって生産経費の分析は，このような機械維持費の増加を前提として

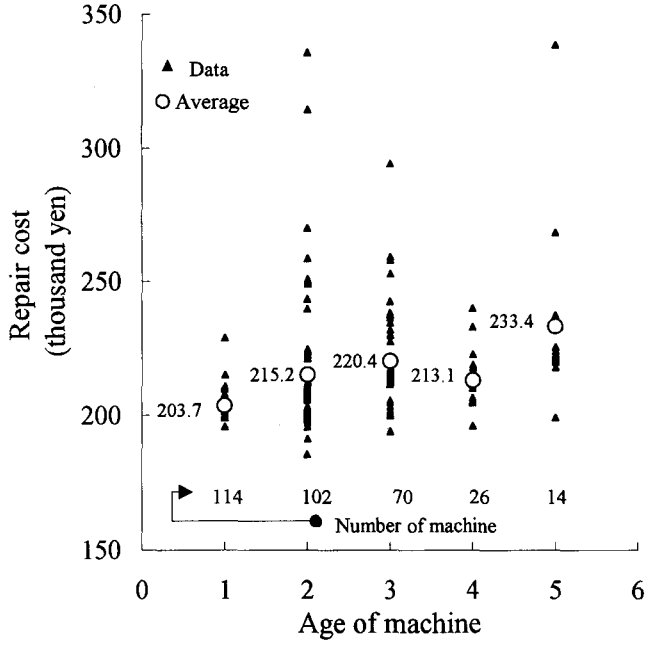


Fig. 37. Repair cost of the used ear-hanging machines from 1993 to 1997.

行う必要がある。

6-2. 機械化の前提条件と分析方法

(1) 機械化の条件

適正生産規模に関する経済的条件　機械化を実行する場合，第4章で示した (22) 式が満たされなければその設備投資は経営状態を悪化させる。したがって，海域の環境許容量に生産量が達している現行のホタテガイ養殖業では，生産規模の拡大は行うべきでないため，必然的に $Em=0$ (Em：生産規模拡大又は機械化に伴う増収額) の条件下で (22) 式が成り立つ生産規模が機械化の適正条件となる。また，機械化に伴う損失額は，主に機械化の影響による製品劣化や歩留まり低下又はへい死率の増加を経済的価値に置き換えた値を意味するが，現時点では耳吊り機の処理によるホタテガイへの影響は定量的な推定が不可能なため $Ml=0$ と考える。

本論で扱う諸生産パラメータは養殖経営体のホタテガイ取扱量が30～400万枚間に分布する北海道噴火湾域のものであるが，当該地区の経営体のほとんどは100万枚以上の生産規模となっている。

作業適期の条件　養殖作業には農作業でも重視される適期適作業といった育成管理上の期間条件がある。北海道噴火湾海域では，珪藻類が大発生して処理対象であるホタテガイ稚貝が作業可能サイズになる3月中旬期 (殻高平均65 mm以上) から，海水温が上昇して放精・放卵が盛んになる5月上旬までの作業適期内に作業を終了しなければ，養殖貝の成長不良やへい死率が増加すると考えられている。しかし，一方では生殖巣の発達や退化及び海象条件に依存する作業可能日数は年毎に変動するため，養殖業者は上述した作業適期内の短期間内に作業を終了させることが重要であると考えている (茶碗谷，1992)。以上の理由と当該海域における養殖ホタテガイ稚貝の成熟過程を分析した結果 (川真田，1981)

から，作業適期間は生殖巣が成熟する 35 日前後の期間に設定した。ただし，時化により操業不可能な日もあることも考慮して，作業可能日数は 30 日間と仮定した。

(2) MAPI 法と稼働劣性

「6-1.(2) 対象機械と管理状況」で述べたように，機械修理を随時行うとともに定期的な点検・整備・調整・交換を実施すれば，機械設備の物理的な耐用年数を延伸することが可能である。しかし，機械設備の経済性を考慮した場合，その耐用年数は使用年数に対する減価償却費と機械維持費との相対的な関係から求められる。つまり，使用年数が経過するにつれて減価償却費は減少するが，機械維持費は物理的機能を維持しようとする面から増加するため，この両者の合計額である平均費用曲線はある年数に極小点を持つことになり，その点が最小費用に結びつく経済的耐用年数として算出されることになる。

MAPI 法は，この考え方に基づく一手法であり，新設備に将来負担されていく機械維持費の累積額を「稼動劣性」と表現し，その年平均額と減価償却費を合計した「年平均負担額 (以降，アドバースアベレージ)」による費用曲線を定めて，その「最小点 (以降，アドバースミニマム)」における「経済的耐用年数 (又は更新年数)」を次の仮定の下で決定する方法である。

仮定 I. 将来の設備のアドバースミニマムは現在の設備のそれと同じである。
仮定 II. 現在の設備の稼動劣性は使用期間にわたって一定に累積される。その一定の増加割合を「稼動劣性度」と称する。

アドバースアベレージは現在から n 年後の将来に渡る稼動劣性の累積額を現在価値に置き換えた評価額と機械の取得価格の合計に資本回収係数を乗ずることによって求められる年平均負担額である。なお，使用年数 n の関数アドバースアベレージ $U(n)$ は Fig. 38 に示すような曲線を描き，機械の取得価額と利率を $P, j\times100(\%)$ とし，仮定 II から定義された稼動劣性度を g で表すと，(49) 式のように表される (G. Terbough : 1949, 清水 : 1962)。右辺第 1 項が初期投資コストの期間調整費，第 2 項，3 項は稼働劣性の期間調整費である。

$$U(n)=P\cdot\frac{j(1+j)^n}{(1+j)^n-1}+\frac{g}{j}-\frac{ng}{j}\left(\frac{j}{(1+j)^n-1}\right) \tag{49}$$

アドバースアベレージの試算では対象機械の稼動劣性度の推定が重要となる。この稼動劣性度の推定は，現用機械の使用年数や累積利用時間及び累積機械維持費などに関する利用実態調査の結果を用いた *MAPI* 法による分析を施して初めて可能となる。本手法の応用例は利用年数 10～20 年の農業用機械 (トラクター) の利用実態と廃棄事例を調査し稼動劣性度及び経済寿命を分析した研究 (天間ら : 1967, 佐々木ら : 1988) に見られる。しかしながら近年ようやく導入されつつある耳吊り機において，その実用化の歴史は最長でも 5 年 (1997 年現在) と短く，仮定 II に従った稼働劣性度の分析は事実上不可能である。

そこで本論では推定不可能な稼動劣性度 g を説明変数としてアドバースミニマムの関数 $V(g)$ を試算し，経済的耐用年数及び機械負担額を検討することにした。ただし，機械機能の陳腐化に起因する機械寿命は考慮せず，ここでは専ら物理的損耗のみを前提とした分析を行った。また，アドバースミニマムは (49) 式のアドバースアベレージを $U(n\,;\,g)$ と置き換え (50) 式のように定義する。経済的耐用年数は n_g^* とする。

$$V(g)\equiv U(n_g^*\,;\,g)\equiv\min\{U(n\,;\,g)\},\ n=1,2,3,\cdots, \tag{50}$$

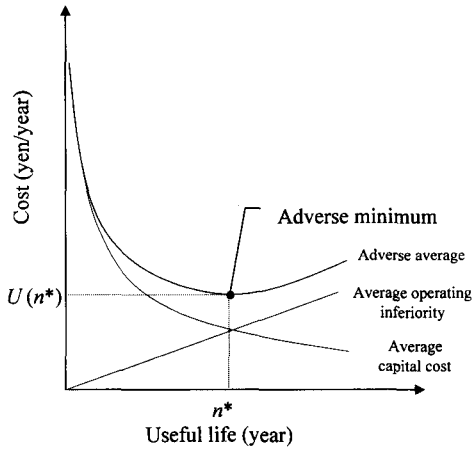


Fig. 38. Method of determining the adverse minimum and economical useful life.
P: acquisition cost of instrument, n: useful life, j: rate of interest, g: annual inferiority gradient. n^*: economical useful life.

このように示されたアドバースミニマム $V(g)$ は稼働劣性度 g に基づく n_g^* 年の使用期間の「年平均機械投資額」と解釈し直すことができる。また，N 年目に機械が廃棄される場合の第 n 年度の機械維持費を S_n $(1 \leqq n \leqq N)$ とすると，仮定 II は $\sum_{n=1}^{N} S_n = N(N+1) \cdot g/2$ と解釈されるため，n_g^* 年間機械が使用された場合の機械維持費の年平均値 $\bar{s} = \sum_{n=1}^{n_g^*} S_n \Big/ n_g^*$ は稼働劣性度 g と結果的に (51) 式のように関係づけられることになる。

$$\bar{S} \equiv \frac{n_g^* + 1}{2} \cdot g \tag{51}$$

以下では，この $V(g)$ と $\bar{S}$ をそれぞれ「機械利用経費」と「平均機械維持費」と呼ぶことにする。

(3) 適正機械処理量と稼働時間の決定法

「6-2.(2) MAPI 法と稼働劣性」では MAPI 法で導かれる経済的耐用年数と稼働劣性度及び機械利用経費との関係について触れたが，機械化の採算性に関する評価は，機械利用経費だけでなく機械化に伴う養殖作業体系の変遷によって変化する他の経費項目を含めて検討しなければならない。

ここで耳吊り機の導入前後の雇用経費と機械運転費と資材費の差額を C_{labor}，C_{run}，C_{material} とすれば，(22) 式の条件から耳吊り機導入の経済的存立条件は次のように与えられる。

$$V(g) + C_{\text{run}} + C_{\text{material}} < C_{\text{labor}} \tag{52}$$

C_{labor}, C_{run}, C_{material} は以下の手順によって貝 1 枚当たりの変量から導くことができる。貝 1 枚当たりの雇用費単価を h_{labor} (yen/shell) とすると，耳吊り機によって貝 1 枚を仕立てる毎に雇用経費は h_{labor} 分だけ節減されることになる。したがって耳吊り機が 1 操業期当たりに処理するホタテガイの枚数を q (shell) とすれば，雇用経費の差額 C_{labor} は (53) 式で表される。また，耳吊り機で処理された貝は従来作

業の穿孔機の工程を通過しないから，その分耳吊り機導入前後で貝1枚当たりの電力消費差が生じる。ここで穿孔機及び耳吊り機の消費電力と貝1枚当たりの平均作業時間をそれぞれ r_{drill}, r_{ear} (kWh) 及び t_{drill}, t_{ear} (time/shell) とし，電力単価を e (yen/kWh) とすれば，電力消費差に起因する運転費の差額 C_{run} は (54) 式で表される。次に開孔したホタテガイを養成綱に吊り下げるための手作業用テグスと耳吊り機で使用されるテグスの単価を b_{labor} (yen/pc), b_{ear} (yen/pc) とすると，テグス1本には貝が2枚吊されるので，資材費の差額 $C_{material}$ は (55) 式として得られる。

$$C_{labor}=h_{labor}\cdot q \tag{53}$$

$$C_{run}=(r_{ear}\cdot t_{ear}-r_{drill}\cdot t_{drill})\cdot e\cdot q \tag{54}$$

$$C_{material}=\frac{(b_{ear}-b_{labor})}{2}\cdot q \tag{55}$$

(53)～(55) 式と (52) 式を満たす一操業期当たりの処理枚数 q の最小値を g の関数 $q_{min}(g)$ で表現すると (56) 式となる。

$$q_{min}(g)=\frac{V(g)}{h_{labor}-(r_{ear}\cdot t_{ear}-r_{drill}\cdot t_{drill})\cdot e-(b_{ear}-b_{labor})/2} \tag{56}$$

また，$q_{min}(g)$ を処理するために必要な耳吊り機の稼動時間 $rt_{min}(g)$ は (57) 式となる。

$$rt_{min}(g)=q_{min}(g)\cdot t_{ear} \tag{57}$$

$q_{min}(g)$ 及び $rt_{min}(g)$ は，稼動劣性度が g である耳吊り機を n_g^* 年使用する機械導入計画下におけるコスト最適化が可能な必要処理量とそれを処理するために必要な1操業期の機械稼働時間を意味する。これらの値は養殖漁家が耳吊り機の導入を診断する上で極めて重要な値と考えられる。さらに任意の雇用労働力が手作業で処理していたホタテガイ総量を Q (生産規模)，作業適期内に実現できる最大機械稼働時間を T_{max}，耳吊り機の実稼働時間を $rt(=q/t_{ear})$ とすれば，

$$Q\geqq q>q_{min}(g)\cap T_{max}\geqq rt>rt_{min}(g) \tag{58}$$

が満たされる $\{q, rt\}$ に限り，機械化が有効となる。

本論では $q_{min}(g)$, $rt_{min}(g)$ を試算し，(58) 式の条件に基づいて機械化の成立する Q 及び T_{max} の条件と稼働劣性度の関係について検討する。

(4) パラメータの設定

(56) 式に関する生産パラメータの値を Table 9 に示した。これらの値には実態調査に基づく平均的な値を採用した。また，t_{ear}, r_{ear} は 1995 年の作業期間に北海道渡島支庁管内森町において実測した平均値を用いた。作業の実測方法は従来作業を調査した作業計測法と同様で，また，消費電力は機械に積算電力計を接続してストップウオッチで計測した。

6-3. 機械化の成立条件の検討

(1) 稼働劣性度の範囲設定

Fig. 39 は (49) 式及び (50) 式に耳吊り機の販売額と平成8年11月5日現在の漁業近代化資金で定められている利率 ($j=3.2\%$) を当てはめて，稼動劣性度 g に対する経済的耐用年数と機械利用経費を (51) 式から平均機械維持費として試算した結果である。

「6-1.(2) 対象機械と管理状況」でも述べたように実際の稼働劣性度の推定は不可能である。ここで耳

Table 9. Parameter value to calculate eq. (56).

Production parameters	Parameter	Value	Unit
Production cost			
Unit labor cost	h_{labor}	1.428*1	yen/shell
Acquisition cost of the ear-hanging machine	P	4,500,000	yen
Unit price of gut fastener	b_{labor}	0.2	yen/pc
Unit price of plastic fastener	b_{ear}	0.25	yen/pc
Unit electric cost	e	19.85*2	yen/kWh
The other parameters			
Drilling time per a shell	t_{drill}	1.27	s/shell
Ear-hanging time per a shell	t_{ear}	1.54	s/shell
Electric power of the ear-hanging machine	r_{ear}	155×10^{-6}	kW
Electric power of drilling machine	r_{drill}	20×10^{-6}	kW

*1 Average unit labor cost in Mori town at Hokkaido (1995).
*2 Unit electric cost for industry in Hokkaido (Oct. 1994～Sep. 1995).

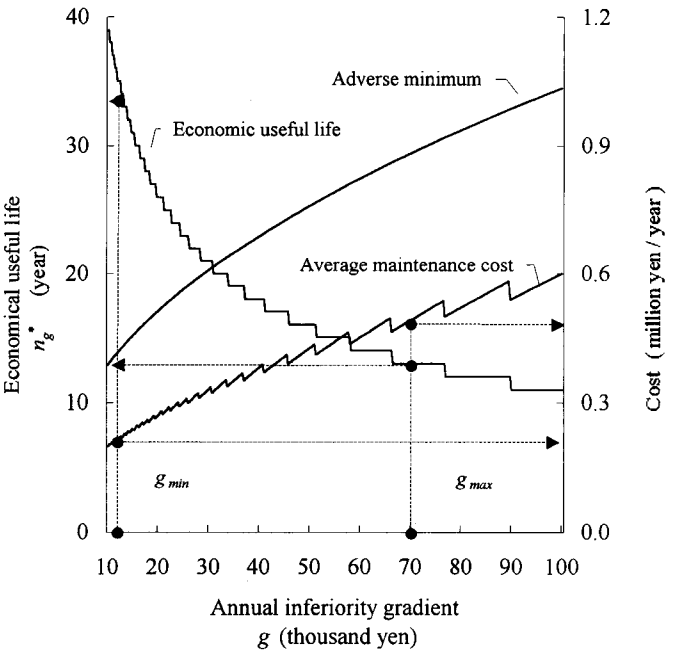


Fig. 39. Calculated results of the adverse minimum and economic useful life of an ear-hanging machine to annual inferiority gradient (g) by eq. (49), and the average maintenance cost by eq. (50) under interest rate as 3.2%.

吊り機の平均機械維持費 $\bar{S}$ が将来においても5年目までの実績平均約27万円に維持されれば，稼働劣性度 g は1.3万円で推移し，その経済的耐用年数は34年にまで至ることが判る。本論では修理費が増加することを前提にしているので，g=1.25万円が考えられる稼働劣性度の下限値になる。また，稼働劣性度が g=7.07万円に推移するとすれば，経済的耐用年数は13年となる。このとき購入時から13年目の廃

棄までの平均機械維持費は約 49.3 万円となるため，6 年目から 12 年目においては約 66.8 万円の平均機械維持費が支払われる計算になる。この額はこれまでに交換済みの全部品が一度に交換された場合と同額であるため，廃棄までにこれが毎期繰り返されたとしたら稼働劣性度は $g=70.7$ 万円に推移することになる。したがってこの値は現実的ではないが，現時点で考えられる稼働劣性度の上限値となる。

実際の稼働劣性度は 5 年目以降の物理的摩耗の進行とそれに伴い支払われる機械維持費の推移如何によって決定されるが，上述した理由からその上限値 g_{max} を 7.07 万円，下限値 g_{min} を 1.25 万円として以下の検討を進める。

(2) 機械化成立の定量的条件

Table 9 の生産パラメータの値を (56) 式に当てはめて試算した $q_{min}(g)$ と (57) 式から得られる $rt_{min}(g)$ をそれぞれ Fig. 40 と Fig. 41 に示した。以下，これらの試算結果と前節の稼働劣性度の設定範囲 $\{g|[g_{min}, g_{max}]\}$ に関して，稼働劣性度と生産規模及び機械稼働時間の関係から，機械化の成立する条件について検討する。

任意の漁家の生産規模 Q_1 と適期内において確保できる最大機械稼働時間 T_{max} が与えられたとき，(58) 式との関係から機械化の成立する稼働劣性度の範囲は

$$g_{min} < g < \min\{g_{max},\ q^{-1}_{min}(Q_1),\ rt^{-1}_{min}(T_{max})\} \tag{59}$$

と表現される。ただし，

$$Q_1 \geqq q_{min}(g_{max}) \cap T_{max} \geqq rt_{min}(g_{max}) \tag{60}$$

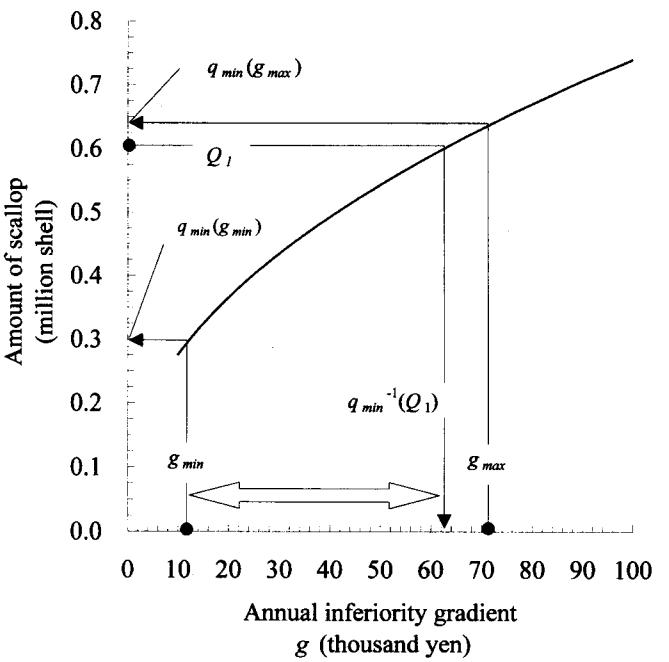


Fig. 40. The required minimum throughput q_{min} (g) to reduce the production cost in the case of using ear-hanging machine.
Q_1 means arbitrary production size. Section pointed by the white arrow shows the range of g being able to reduce cost.

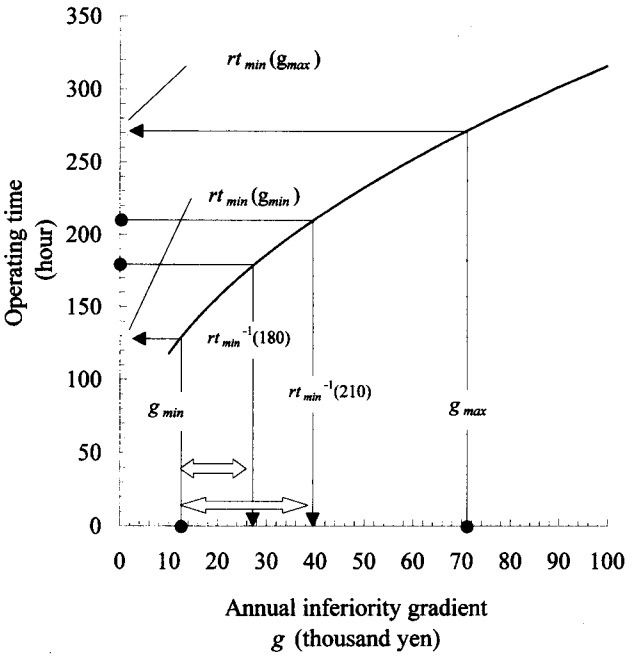


Fig. 41. The required minimum operation time $rt_{\min}(g)$ to reduce the cost.

が満足していればこの条件だけで経済的意味においての機械化が必ず成立する。試算結果は $q_{\min}(g_{\max})=$ 約 63 万枚かつ $rt_{\min}(g_{\max})=271$ 時間であるから，例えば 100 万枚以上の取扱量を持つような経営体が作業適期内に機械を 300 時間稼働させることができれば，機械化による経費節減が十分に可能であると言える。このときの稼働劣性度範囲は先に定めた $\{g|[1.25$ 万円，7.07 万円$]\}$ と表されるが，

$$q_{\min}(g_{\min})<Q_1<q_{\min}(g_{\max})\cup rt_{\min}(g_{\min})<T_{\min}<rt_{\min}(g_{\max}) \tag{61}$$

の場合，稼働劣性度の範囲

$$g_{\min}<g\leqq\min\{q_{\min}^{-1}(Q_1),\ rt_{\min}^{-1}(T_{\max})\}<g_{\max} \tag{62}$$

も満たされなければ機械化は成立しない。特に $q_{\min}(g)$, $rt_{\min}(g)$ は単調増加関数であるから，与えられた Q_1 又は $T_{\max}$ が (61) 式の範囲内で低位であるほど機械化が成立する稼働劣性度範囲幅が狭くなることが判る。さらに

$$Q_1\leqq q_{\min}(g_{\min})\cup T_{\min}\leqq rt_{\min}(g_{\min}) \tag{63}$$

の場合，稼働劣性度の値にかかわらず機械化は必ず不成立になる。具体的数値で示せば生産規模が $q_{\min}(g_{\min})=$ 約 30 万枚に至らない養殖漁家又は作業適期間内に $rt_{\min}(g_{\min})=$ 約 129 時間の機械稼働時間が確保できない養殖漁家は，経済的な観点から機械化を実行するべきではないことになる。

(3) ケーススタディ

「6-3.(2) 機械化成立の定量的条件」では生産規模 Q_1 と作業適期期間内に機械が稼働できる最大時間 $T_{\max}$ を与えた場合，機械化成立の十分条件は (60) 式で，また，不成立の十分条件は (63) 式で判断できることを示した。ここでは成立条件に必ず稼働劣性度の条件が加えられる (61) 式のケースについて，試

算によって機械化成立の具体的内容を示す。

耳吊り機を購入した養殖漁家の生産規模を300万枚，また，1日の平均機械稼働時間上限を6時間とする。生産規模は $Q_1 \gg Q_{max}$ なので機械化成立の十分条件は満たしている。しかし，T_{max} は，作業適期間が30日間であることから，180時間 ($< rt_{min}(g_{max})$) であり，Fig. 41 の白矢印が示すように機械化が成立する稼働劣性度の範囲は {g[1.25万円，7.07万円)} と狭小化する。また，$g=2.8$ 万円のとき平均機械維持費 $\bar{S}$ は30.8万円となるが，現在稼働中の耳吊り機の中には平均機械維持費が30.8万円を上回るものもあるため，もし購入した耳吊り機がそれらの機械と同じような整備や部品交換が施され続けたとすると稼働劣性度 g は2.8万円を超えることになる。この場合，機械化を合理的に実施するには，作業スケジュールを変更し，1日の機械稼働時間を増加させる必要がある。

このように大規模経営体においても作業適期内の最大機械稼働時間 T_{max} が短時間しか確保できなければ，稼働劣性度範囲が狭隘化し，さらに平均機械維持費の増加程度によっては機械化不成立になるケースのあることが推測できる。

6-4. 考察

(1) MAPI 法の有効性と耐用年数の設定法

MAPI 法を用いた上記の分析結果から，規模拡大過程を終えた養殖経営における経営の合理化に直結する機械化の成否は，設備管理能力に依存しているものと考え得る。耐用年数を伸ばし単年度当たりの機械利用経費を極限まで節減させることが，この場合最重要になるからである。しかし，当該養殖業の場合，機械維持管理は概ね修理業者に委託されているため，養殖漁家は高額な機械投資を行っても維持管理費を結局のところ負担していかねばならない。本論では耳吊り機の将来の機械維持に関する諸経費が増加することを念頭に，耐用年数と維持費の推定値を独立的に設定するのではなく，経済的耐用年数と密接に関連する稼働劣性度を利用した分析によって，初めて機械化の成立する条件が導かれることを明らかにした。

一方，機械利用経費を算出するためには，会計上で用いられる「法定耐用年数」が適用されることが一般的である。しかし，この法定耐用年数は耳吊り機をはじめ竹製以外の水産物養殖設備に対して一律的に「4年」が適用 (浦，1976) されており，本試算で多めに見積もった稼働劣性度 $g_{max}=7.07$ 万円の場合の経済的耐用年数13年に対してさえも，かけ離れた値であることが理解できる。また，販売元又は修理業者による耳吊り機の点検・整備・修理のサービス料金が $g_{min}=1.25$ 万円で将来も維持されるとすれば，現時点での経済的耐用年数見込みは法定年数の8.5倍にまで達することができ，機械利用経費を算出するに当たっての法定耐用年数の適用は妥当性に欠けているものと推察される。

本事例のように機械維持費の将来的負担分を機械化の意志決定因子に加えなければないと判断された場合，旧来的な法定耐用年数の推定よりは，購入額と稼働劣性度の設定のみで経済的耐用年数及び年度当たりの機械利用経費を導ける MAPI 法の適用の方がより生産の実情に即した方法であると考えられる。

(2) 操業期間と機械管理

本論では，諸生産パラメータを用いた収支分析に MAPI 法の概念を取り入れることによって，稼働劣性度を用いた機械化成立範囲が推定できることが示されたと考える。その推定範囲を最終的に決定づける因子は，任意の漁家の生産規模 Q_I と最大機械稼働時間 T_{max} であり，必ず機械化が成立する又は不成立になる生産規模と機械稼働時間を導くことができた。また分析の結果，作業適期間が何等かの制約で短期となるか，作業適期期間内に十分な機械稼働時間が確保できなければ，大規模経営体においても機

械化不成立となる可能性もあることが判った。

しかしながら作業適期間は現在のところ明らかにされていない。この点については増養殖学的な視点に基づく解明が待たれるものの，操業期間が短期間に限られると，機械化による経費節減効果を確実にするために1日当たりの稼働量を増加させなければならない状況が容易に想定される。このことは1日当たりの平均稼働時間を6時間から7時間 ($T_{min}=210$) に延長すれば稼働劣性度の機械化成立範囲が $\{g[1.25$ 万円，2.8 万円$)\}$ から $\{g([1.25$ 万円，4.6 万円$)\}$ に拡大されることからも推測できる (Fig. 41)。しかし，機械稼働時間の増加は同時に海上作業も含めた当該作業前後に配置される諸作業量の増加も意味するため，作業余裕時間の低下や機械の取り扱い状況の悪化及び機械管理の粗雑化などを誘発し，同時に機械維持費の増加として採算性に間接的にフィードバックされてくる。通常行われている損益計算のなかでは，このような有機的関連を持つ操業要因のシステム的変動は全く捨象されてしまっていると考えられる。

耳吊り機の導入は，雇用労働力の節減と労働力確保や労務管理に要した雑費が削減され，さらに雇用者数に支配されてきた操業計画の安定化に通ずるメリットがある。しかし，その反面，機械維持費の負担が増加しないよう機械設備の管理能力が必要となり。機械化の意志決定に際しては諸機械・設備の管理項目が付加されることも十分に配慮されなければならないであろう。

耳吊り機が持つ稼働劣性度は現時点では推定不可能であるが，機械化による合理的漁業経営を図るためには，本論で示したような機械化の成立範囲内に機械劣化を収めるため，漁業者自らが機械設備管理を徹底し，生産手段の損耗を招かないようにすることが人件費節減を図ると共に今後の重要な課題となるものと考えられる。

7. 総合考察

7-1. 本研究の成果

諸論で述べたように今日の省力化技術や低コスト化技術を導入する際には，対象漁業の対象魚種や経営規模などの特殊性を配慮した生産要因全般に関わる方策が求められている。本論ではこのように顕在化してきた漁業技術管理上の要求に対応する可能な新たな技術の導入理論を構成するために，ホタテガイ養殖業の機械化を研究事例とし，I.E. の手法を用いて機械化導入形態の構成を検討した。

第2章では，大規模化した当該養殖経営の生産技術上の経済的問題点を明確にし，漁家調査と機械調査によって今日の養殖労働と機械化投資の現状評価を行い，当該養殖業の機械化の問題点をまとめた。そのことによって，労働力配分と労働負荷が極端に偏っている「分散・耳吊り作業」の省力化及び低コスト化の必要性を論じることができ，さらに機械化の指針と I.E. を適用するための分析視点を提唱することができた。

第3章では，I.E. の概念の基本に習い，第2章で低コスト化の必要性が指摘された分散・耳吊り作業の作業研究を行った。作業研究では当該作業の工程分析と作業要素時間の標準化を行い，また，それをラインバランシングの理論に当てはめて，「編成効率」と「サイクルタイム」を評価指標として想定可能な複数の作業システムの比較と分析を行った。その結果，高生産率かつ高効率を示す作業システムの決定と，ステーション並列化数と同義である最適作業者配分数の決定が行えることが明らかになった。しかし，ラインバランシング法は直列型生産ラインへの適用を前提とした手法であるため，実際の生産現場に即した想定可能な並列作業システムを評価する場合には，最適作業システムの評価は Fig. 18 で示したように編成効率だけではなく，経済性に関する尺度も加えねばならないことが判った。この点は，第4章の改良モデルで提案し直した。

第4章では，第3章で扱った編成効率の概念に加え，作業者と機械設備の配分数が異なる作業システムをコスト評価するための新しい尺度「U_{total}」を構築した。U_{total} は単位生産労務費と単位生産機械設備費の和で表現されるため，労務費用の中に編成効率の概念も包含できる尺度となり，評価結果において遊休時間分の損益分をも評価できる尺度構成となっている。さらに，U_{total} のうち，機械設備費用項は Pinto ら (1975, 1981) が用いていた取得額を耐用年数で除した表現ではなく，さらにそれを当該作業の全処理量で除した「養殖漁家の取扱量当たりの固定費用」と表現したため，Pinto ら (1975, 1981) の評価結果より機械設備の配分数が大幅に少ない最適作業システムを導くことができた。このことによって，U_{total} の二つの特徴を見出すことができる。一つは作業の効率と生産経費を統一的に評価できる尺度であること，もう一つは当該作業のような稼動期間が短い作業に使用される機械設備の価値が Pinto らの評価尺度より高く見積もられることである。特に後者の特徴は，ホタテガイ養殖業の経営管理の課題となっている「機械設備の過剰投資の抑制」が，生産性を含んだ評価法になっており，生産設計の際に有力な情報として用いることができる。

第5章では，第2章で経営改善策の一案であると論じた自動耳吊り機の導入を想定し，その採算性評価を試みた。方法として，まず，第4章の成果を応用し機械化作業システムの決定法を構成し，次いで収支勘定から見た自動耳吊り機導入による生産経費の節減額を試算した。この結果，自動耳吊り機の導入による経費節減効果が定量的に示され，また経営体の生産規模に見合う最適購入台数が求められた。しかし，この収支計算モデルでは自動耳吊り機の償却費を調達資金の償還期間と利息から求められる年平

均投資額として見積もったため，償還期間が短期間であった場合に生産コストの節減額が過小に評価されることが試算結果より示唆された。この点に関しては償却費の年平均額の計算には機械購入から廃棄までの使用年数で対応させる必要があり，そのためには実質的な機械耐用年数を求めなければならないと考察された。また，機械稼働時間の増減によって機械投下当たりの生産経費の節減効果が大きく変化することも判った。特に可及的に機械稼働時間を延伸すれば，生産軽費の節減効果は拡大されることが推察された。しかし，分散・耳吊り作業の作業期間には養殖作業上の制約期間があり，機械稼働時間には上限が存在する。そのため，この収支計算モデルを使って適正に機械化の採算性評価を行うには機械稼働時間を分散・耳吊り作業の作業適期期間内において実行可能な値に設定することが条件であると結論づけられた。

第6章では，第5章の考察を受けて，自動耳吊り機の採算性評価に機械耐用年数を理論的に導くMAPI法と分散・耳吊り作業の適期間条件の導入を提案した。しかし，作業適期は増養殖学的な視点から明らかにされていない。そこで，機械劣化を価値尺度で表す稼働劣性度と生産経費節減が可能な機械処理量及び機械稼働時間の関係を理論的に導き，現場の計測結果を当てはめてそれらの定量的関係を求めた。さらに，生産経費節減が可能となる稼働劣性度範囲が得られたことから，当該機械の導入による機械化が必ず成立する条件と不成立となる条件を明示することができた。特に北海道噴火湾の養殖漁家のような大規模経営体では生産規模の側面から判断すれば機械化は成立することが示された。しかし，ホタテガイ生殖巣の成熟期を作業適期間とした場合，有効な機械稼働期間が生産現場での作業期間よりも限られるため，機械化が成立する稼働劣性度範囲が狭隘化することが判った。これらの結果から機械化を十分に成立させるにはユーザー自身の設備管理力も重要となってくることが推察された。

以上のように本研究では，現在進行しつつある機械化が養殖経営の改善に繋がるための定量的な条件を導くために，本論を「養殖経営と生産技術上の現状分析から得られた改善工程と機械化指針（第2章）」→「改善工程である分散・耳吊り作業の最適作業システムの決定法（第3, 4章）」→「経済的観点から見た機械化の評価法（第5, 6章）」のように段階的に構成してきた。特に第3章以降では具体的にI.E.手法を適用した分析を行ってきたが，この事前分析のためには，第2章の調査によるホタテガイ養殖業の作業上の特性と機械類に関する生産技術の内在的問題点の把握が重要な役割を果たしている。

今後，他漁業種へのI.E.手法の適用を考える際にも，このような漁家経営と現行生産技術の分析は，十分に適用できる方法論であろう。

7-2. ホタテガイ養殖業の機械化に関する展望

ホタテガイ養殖業の機械化と設備の大型化は経営規模を拡大していく上で必要な技術上の要請であった。しかし，量産化技術は近年のホタテガイの低落を補えるほど生産原価の低減化を達成してはいない。特に作業の生産性が極めて低い分散・耳吊り作業においては，従来の穿孔機械から高性能な自動穿孔機械への更新が進んだものの，規模拡大に伴ってテグス通し作業への必要労働量が増加したため，当該工程の生産経費は上昇する一方であった。設備経費が高騰しているにも関わらず当該作業工程だけに支払われる雇用費用は年間経費の3割弱にも達する。このような状況下においては，労働力配分が極端に偏っている分散・耳吊り作業の省人化が養殖経営の低コスト化を進める最後の対策となり得る。また，この対策の一環である自動耳吊り機の導入は，省人化を可能にする点で経費節減対策の一案ともなる。本論では自動耳吊り機の導入を想定した機械化の成立条件を示したが，ここではこれをさらに生産現場の実態に則して表し，養殖漁家における機械化の是非の判断基準と今後の機械化研究に関する課題について

若干の考察を加える。

第6章では，自動耳吊り機の導入による機械化案は取扱量100万枚を越える大規模養殖経営体では生産規模の側面から見れば十分に経費節減が可能になることが示された。特に北海道噴火湾では取扱量が200万枚を越える漁家が多く，自動耳吊り機の導入はこの地域に現れている。現在噴火湾全体で1,000前後のホタテガイ養殖経営体があるが，自動耳吊り機の導入は250台前後にも上っていると言われている。噴火湾で取扱量が最大級（推定400万枚以上）の経営体では，6台もの導入を試みている例も確認された。しかしながら，青森県陸奥湾の平内町や横浜町などでは一経営体当たりの取扱量が推定50万枚前後となっており，この規模では機械化が成立する稼働劣性度の範囲は極めて小さいことがFig. 36の結果から示される。すなわち，この地域では機械化が成立するための条件は噴火湾よりも厳しく，自動耳吊り機の導入は避けるべきと言える。また，北海道サロマ湖では1経営体の取扱量が19万枚以下（茶碗谷，1992）に定められているが，この規模では第6章の結果から機械化が不成立になる生産規模と診断される。このため，漁家経営の改善面から機械化を実施してはならないことが示唆される。

以上のように産地別に機械化の是非について考察したが，噴火湾域では導入が急速に進んでいる反面，陸奥湾やサロマ湖の地区においては当該機械を購入した漁家はほとんど確認されていない。このような産地別の導入傾向の事実関係からも機械化の意志決定には生産規模が主要素として考えられているものと思惟される。

一方，第5章では自動耳吊り機導入の経費節減効果は機械稼働時間に依存していることが示された。また，第6章では作業適期が短期間に限られれば機械化の経済的な成立が厳しくなることも示された。しかしながら作業適期を決める増養殖学的な知見がないため，この観点からは機械化の是非は言及できない。作業適期に関する分析・調査は機械化の是非を問う上で今後重要となろう。

また，生物生産に用いられる機械化の効果を評価する場合，(22) 式に示した機械化に伴う生物損耗の損失額 Ml を想定しなければならなかったが，本論では推定できないため Ml を捨象した。しかし，生産者らは育成中のホタテガイが機械的処理を受けるとその後の成長に悪影響を与えると考えている。実際に，ホタテガイは外部からの物理的作用によって外套膜を損傷すると「貝殻が異常発症（変形，欠損，腐食，内面着色など）する（小坂ら：1995，長内：1977)」ことが明らかになっており，また，「損傷部の炎症が貝柱などに達した場合はやがてへい死に至る（今井，1971)」からである。特に自動耳吊り機においては，穿孔作業とテグス通し作業を続けて瞬時に行うため，ホタテガイの生理的消耗は従来の穿孔機械以上に大きくなると考えられる。したがってこのような生物学的な視点も踏まえた適正な機械化の評価方法を導くためには，機械処理による生理的消耗と育成不良及びへい死などに関する実験的研究を実施する必要がある。

1970年代の大量へい死の後，「ホタテガイの養殖技術は殺さないこと（菅野，1979)」が提唱され，へい死の原因として養殖作業における貝の取扱の粗さが指摘されてきた（西浜，1994)。耳吊り養殖形態に転換して以来，大量へい死は克服されたが，依然へい死率が高位に推移することもあるため，さらに殺さない養殖技術を確立していかねばならない。そのためには，機械の経済性や作業性だけでなく，特に産物であるホタテガイに消耗を与えるか否かも十分に考慮して機械を導入することが養殖漁家にとって肝要であろう。

7-3. 省力化研究における I.E. の重要性

沿岸漁業の漁労作業は，技術の一般化が進められて機械化が促進した農作業とは異なり，同業種にお

いても経営規模と地域で取り決められる操業規制の違いから操業形態・生産設備が統一的でない。一方，養殖作業に限ると，農業的な生産様式に近いこともあり，作業技術及び生産設備に関して一般化されつつある。しかし，陸上で用いられる養殖装置の開発・導入でさえ，模擬農場により実用試験が徹底できる農業機械の開発とは異なる。漁業においては開発業者が実験海域をもてないことから，プロトタイプの試作そして実験室での稼働試験による改良後，モニター経営体の実操業の中で実用試験を実施するしかない。しかも試験期間が漁期間中に限られて通年行うことができないため，実用試験の試行数を稼げないのが実状である。また，実用試験を行いながらも開発装置の機能・仕様・価格がユーザーに受け入れられるか否か，又は漁業経営を改善し得るか否かを判断されていなければならない。漁業装置を開発している業界では円滑に導入を進めていく対策が求められている。

本論では以上の業界の要請も踏まえて機能・仕様・価格が決められた個別装置の導入判断法をI.E.の概念を採用によって構成した。また，これまでの漁業の省力化研究におけるI.E.の適用段階から発展させることもできた。しかし，個別の技術の導入やI.E.手法の適用を考える前に第2章で行ったように漁業経営と現行技術体系を俯瞰することが最重要であった。そのことによって初めて作業研究の焦点を絞ることが可能であり，また，作業システムや機械化の意志決定に関わる方法論もそこから派生して決定されるからである。さらに生物生産的な特性を摑むことも重要であった。作業の手順とサイクルは対象生物に支配されるからである。特に作業の効率化は対象生物の製品価値を減耗させる可能性もあるため，導入技術が及ぼす対象生物への影響を物理的にも生理的にも調べておく必要がある。

省力化研究は技術の高度化よりも漁業経営の改善のためにある。したがって導入技術とそれを取り巻く関連要素との有機的結合がなされて初めて省力化は成功する。

諸論で述べたように昨今の漁業施策にも取り上げられているように，我が国の漁業には省力化技術・低コスト化技術の開発とその適用が求められている。しかし，技術導入が失策すると漁業経営は破綻してしまう。本論では主にI.E.手法を用いたが，この概念・手法に限らず，今後漁業の省力化・低コスト化・機械化を支援する理論がさらに発展することを心から待望する。

8. 摘　　要

我が国の重点的に取り組むべき漁業振興施策の一つに，『漁業就業者の減少・高齢化に対応するための省力化技術の開発，及び魚価安による経営危機を克服するための低コスト化技術の開発』が挙げられている。しかし，開発された個別の技術を生産現場に適用する際には，漁業種類・対象魚種・地域特性・経営規模等を考慮した，個々の経営体にとって最適な生産体系としての「漁業技術」の導入こそが望まれる。

このような総合的な視点で省力化技術の導入を図るためには，生産活動全般をシステム学的に捉えて分析を行い，その改善施策を求めていくことが肝要である。このためには，漁業技術の導入手法を生産管理学的な視点から新たに構築していくことのできるIndustrial Engineering (I.E.) の概念の適用が有効である。

本論文は，大量生産技術が確立したホタテガイ養殖業を研究対象として，I.E. の概念と手法を，低コスト化を可能とする漁業技術の理論とその評価法の構成に応用し，高機能化・高価格化した当該漁業の機械化に対する指針を示したものである。

ホタテガイ養殖では，1980年代以降から飛躍的な増産が行われた結果，生産の大規模化に伴う経費の高騰と単価の急落を招き，漁業体の経営収支は近年著しく悪化している。このような状況を踏まえて，第2章では，大規模化した当該養殖経営の生産技術に関わる経済的諸問題を，各種の調査資料を用いて明らかにした。養殖労働の現状と機械化による投資動向の分析によって，当該漁業の経営改善に最も効果的な対処は，労働力配分と労働負荷に極端な偏りが見られる「分散・耳吊り作業」の省力化と低コスト化に求められることが見出された。さらに，当該工程の機械化では，単一的処理工程を機械化するだけでは生産効率や生産性を総体的に向上させることはできず，また，設備管理や作業スケジュール管理などの適正化にも配慮しなければならないことが示された。本章で行った生産技術上の実態分析から，近年進められている分散・耳吊り作業の機械化に関する解析視点が定まったことを受け，その具体的理論と生産の改善方法を，次章以降のI.E. の概念を用いた諸分析によって明らかにした。

第3章では，低コスト化を必要とする分散・耳吊り作業の分析を行った。生産実態を定量的に把握するために，I.E. で用いられる作業研究を応用して，当該作業の工程分析と作業要素時間の標準化を行った。次に，これらの計測値を用いて，生産ラインの適正状態を，「編成効率」と「サイクルタイム」を指標とするラインバランシング理論から評価した。分析の結果，想定可能となる複数の作業システムの比較により，高生産率かつ高効率となる作業システムが一意に決定できるとともに，ステーション並列化数と同義である最適作業者配分数を推定可能であることも判った。しかし，ラインバランシング法は直列型生産ラインへの適用を前提とした手法であるため，生産実態に即した想定可能な複数の並列作業システムを評価する場合には，編成効率だけではなく経済性に関する尺度も付加する必要のあることも示された。この点は，第4章の改良モデルで提案し直した。

第4章では，第3章で扱った編成効率の概念に加え，作業者と機械設備の配分数が異なる作業システムの評価を生産コスト面から行うための新たな尺度「U_{total}」を導入した。U_{total} は編成効率を含む単位労務費と単位機械設備費の和として定義される。このため本評価指標は，機械設備費と作業者の遊休時間当りの損益が同等に評価できる特徴を備えており，生産効率と生産性が個々に議論されていた従来の方法に比して，生産システムの特性を統一的に評価できる尺度構成となっている。この結果，第3章で示

した想定可能な複数の作業システムに対する評価では，Pintoらの評価指標を用いた場合に比して，機械設備数が大幅に少ない最適作業システムの特定に成功した。U_{total}の特徴は，作業効率と生産経費を統一的に評価可能な尺度であることと，当該作業のように短期間で終了する漁業生産に特有な機械・設備の「価値」が，既存の評価尺度よりも精度良く推定できる点にある。特に後者の特徴は，ホタテガイ養殖業の経営管理課題となっている「機械設備の過剰投資」の状態を，生産性を含んだ型で表現できることを示しており，生産設計の際に有力な情報として用いることが可能である。

第5章では，第2章で当該養殖業の低コスト化対策の一案であると論じた自動耳吊り機の導入を想定し，その採算性の評価を試みた。解析では，収支勘定から見た自動耳吊り機導入による生産経費の節減額のシミュレーションを行った。その結果，自動耳吊り機の導入に伴う諸経費の節減効果および生産規模別の最適導入台数を，定量的に定められることが示された。また，自動耳吊り機の償却費を調達資金の償還期間と利息から求められる年平均投資額として見積もったため，償還期間が短期間であった場合，この計算モデルでは生産コストの節減額が過小評価されることもわかった。このことから償却費の年平均額の算定では，償還期間の代わりに実質的な機械耐用年数を用いる必要のあることが考察された。さらに，機械稼働時間の増減によって生産経費の節減効果は大きく変化し，特に，機械稼働時間を可及的に延伸すれば，生産軽費の節減効果が拡大されることも判った。しかし一方では，分散・耳吊り作業には「作業適期」といった時間上の制約があり，生物生産面から規定される機械稼働時間の上限値が厳存する。このため，この収支計算モデルを使って適正に機械化の採算性評価を行うためには，機械稼働時間を分散・耳吊り作業の作業適期期間内に収まる値に設定することが必要条件となる。

第6章では，前章の結果を踏まえて，機械類の耐用年数を理論的に推定できるMAPI法と，分散・耳吊り作業の適期条件を用いた採算性の評価を行った。現在，作業適期は増養殖学的成果からは求められていないため，作業期間の長短と採算性との関係を帰納的に定めることはできない。本章では，「機械の劣化度合い」を価値尺度で表すMAPI法の「稼働劣性度」と，生産経費の節減が可能な機械による「処理量」，および「機械稼働時間」の関係を理論的に導き，生産現場の計測結果を当てはめて，これらの定量的関係を推定した。この評価式からは生産経費節の削減を可能とする稼働劣性度範囲が算出されるため，この結果，当該機械の導入による経営面での機械化が存立する条件が求められる。北海道噴火湾の養殖漁家のような大規模経営体に対する試算では，現状では，機械化は成立しているものと結論づけられる。しかし，ホタテガイの生殖巣の成熟期を作業適期間とした場合，その機械稼働期間は生産現場での実作業期間よりも僅少となるために，機械化が成立する稼働劣性度範囲は狭隘化してしまう。この場合においても，機械化を成立させるには，生産性の向上よりも漁業者の設備管理能力を高めることが重要となると推察された。

9. 謝　　辞

本研究の遂行にあたり，ご指導くださった北海道大学水産学部橋本忍教授，また，本論文をまとめるにあたり有益な御助言を賜った同学部梨本勝昭教授，飯田浩二教授，山下成治助教授，見上隆克助教授，古林英一助教授に感謝の意を表する。

本研究の成果は養殖実態の調査・作業実習から得られたところが大きかった。これは大変忙しい盛漁期中でありながら快く調査と作業計測をさせていただいた以下に記すホタテ養殖着業者の誠意によるものである。北海道森漁業協同組合高瀬俊雄氏，吉田義男氏，北海道長万部漁業協同組合指導漁業士佐々木秀義氏，青森県横浜町漁業協同組合員杉山東治氏，北海道鹿部漁業協同組合指導漁業士築地丈士氏と同青年部長木村　力氏，その他お世話になった多くの漁業者に心から感謝する。

また，誠意ある漁業者を紹介していただいた上，養殖機械に関する有益な情報と資料を頂いた漁業機械製造・販売業者の協力も大きかった。株式会社むつ家電特機取締役杉山弘昭氏，同社田中孝俊氏，株式会社東和電気製作所取締役浜出雄一氏，株式会社菅製作所取締役菅　鉄夫氏，同社営業部主任菅　育正氏，泰東製鋼株式会社北海道支社函館出張所所長武子裕一氏に深謝する。

さらに調査の補助と実験補助にご協力を頂いた北海道大学大学院修士課程渡部智彦氏，田中信夫氏，山花　毅氏に，休日でありながら写真撮影にご協力いただいた北海道大学大学院博士課程井口　兼氏，調達資金の利率について調べて頂いた北海道信用漁業協同組合連合会山口拓也氏，ホタテ稚貝の生殖巣の成熟についての資料と関連情報を御提供して下さった北海道栽培漁業総合センター川真田憲二氏，漁家調査によるデータを快く提供していただいた北海道大学水産経営学講座板倉信明助手，計測のお手伝いをして頂いた北海道大学漁業機械学講座当時4年生松原憲彦君，梅田有宏君，増田雄次郎君，佐々木要君，源　貞憲君，三村大地君，論文作成及び整理でお世話頂いた上野澄子文部事務官，そして日々の生活を支えて頂いた妻・友美と長女・この実に深謝する。

なお，本研究の一部は，文部省科学研究費補助金（日本学術振興会特別研究員奨励賞）により実施した。

10. 参考文献

会田七郎 (1987). 作業改善の技術 (上) (実践 IE 講座), 初版, 東京, pp. 131-149, 日本能率協会, 東京.

茶碗谷　洋 (1985). ホタテ貝取扱の手引き—生産から加工・流通まで—, 281 p., 北海水産新聞社, 北海道.

茶碗谷　洋 (1992). 新版ホタテガイ取扱の手引. 280 p, 北海水産新聞社, 北海道.

Freeman, D.R. and Jucker, J.V. (1967). The Line Balancing Problem, *The Journal of Industrial Engineering*, **18**, 361-364.

伏見多美雄, 千住鎮雄 (1974). 設備投資計画法. pp. 97-122, 日科技連, 東京.

浜田武士 (1996a). 底建網漁業における自動浮沈装置の実用性評価—I—眼鏡型網操業の作業研究—. 平成 8 年度自動浮沈システム研究会補助金事業研究成果報告書, 5 p., 北海道立工業技術センター.

浜田武士 (1996b). 底建網漁業における自動浮沈装置の実用性評価—II—自動浮沈装置を用いた操業の作業研究—. 平成 8 年度自動浮沈システム研究会補助金事業研究成果報告書, 5 p., 北海道立工業技術センター.

浜田武士 (1997). 底建網漁業における自動浮沈装置の実用性評価—III—底小建網操業の作業研究. 平成 8 年度自動浮沈システム研究会補助金事業研究成果報告書, 3 p., 北海道立工業技術センター.

濱田武士, 山下成治, 山花　毅, 松村一弘 (1999). 底建網漁業の作業分析に基づく空気式浮沈装置の実用性評価. 水産工学, **35**, 269-261.

Hardy, D (1991). Scallop Farming. 1st ed., p 237. Fishing News Books, Oxford.

Helgeson, W.B. and Birnie, D.P. (1961). Assembly line balancing using the ranked positional weight technique. *Journal of Industrial Engineering*, **12**, 394-398.

人見勝人 (1992). 生産システム工学, 第 2 版. pp. 79-83, 共立出版, 東京.

北海道いか釣漁業協議会 (1969). いか釣漁船の労働の省力化に関する中間報告, 250 p., 水産庁, 東京.

今井丈夫 (1971). 浅海完全養殖. pp. 211-276, 恒星社厚生閣, 東京.

Ignall, E.J. (1965). A review of assembly line balancing. *Journal of Industrial Engineering*, **16**, 244-254.

石川　馨 (1989). 第 3 版品質管理入門. pp. 1-16, 日科技連, 東京.

伊藤　博, 田中俊介, 和久井卓哉 (1986). ホタテガイ, 浅海養殖, 社団法人資源協会編集, pp. 419-445. 大成出版社, 東京.

かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究会 (1966a). かつお・まぐろ漁船労働の省力化に関する研究—第 1 部漁具処理工程の省力化案—. 48 p., 水産庁生産部, 東京.

かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究 (1965) かつお・まぐろ漁船労働の省力化に関する研究—第 2 部漁獲物処理工程の省力化案—. 111 p., 水産庁生産部, 東京.

かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究会 (1966b). かつお・まぐろ漁船労働の省力化に関する研究—第 3 部機械運転の省力化案—. 75 p., 水産庁生産部, 東京.

かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究会 (1966c). かつお・まぐろ漁船労働の省力化に関する研究—第 5 部漁労機器具開発案—. 47 p., 水産庁生産部, 東京.

かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究 (1966d). かつお・まぐろ漁船労働の省力化に関する研究—第 6 部漁場選択技術開発案—. 17 p., 水産庁生産部, 東京.

かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究会 (1966e). かつお・まぐろ漁船労働の省力化に関する研究—第 7 部船内作業研究調査案—. 88 p., 水産庁生産部, 東京.

かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究会 (1966f). かつお・まぐろ漁船労働の省力化研究開発にに関する総合報告 B. 37 p., 水産庁生産部, 東京.

川真田憲二, 玉置　靖, 富士　昭 (1981). 噴火湾海域における養殖ホタテガイの成熟過程. 北水誌月報, **38**, 132-146.

川延謹造 (1966). 農業機械化技術. pp. 12-26, 養賢堂, 東京.

北内奏雄 (1983). 自動化時代の新標準時間システム. pp. 36-42, 日刊工業新聞社, 東京.

小坂善信, 相坂幸二, 宝多森夫 (1995). 耳吊りホタテガイの春期へい死原因について. 青森県水産増殖センター事業報告, **25**, 140-149.

倉林良雄, 管澤喜男, 村田光一 (1984). 製品・技術連関と価値工学, pp. 28-59, コロナ社, 東京.

黒田　充 (1994). ラインバランシング—一般概念とモデルの発展—, 計測と制御, **33**, 541-546.

Maeda, H. and Minami, S. (1969a). Working time of Danish seiners during Alaska pollack fishery-I, The outline of work pattern. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **35**, 964-969.

Maeda, H. and Minami, S. (1969b). Working time of Danish seiners during Alaska pollack fishery-II, Relation of catch to working time. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **35**, 970-974.

Maeda, H. and Minami, S. (1969c). Working time of Danish seiners during Alaska pollack fishery-III, Relation of working time to depth of fishing ground. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **35**, 1043-1048.

Maeda, H. and Minami, S. (1970a). Working time of Danish seiners during Alaska pollack fishery-IV, Elimination of the influence of bathymetric difference of catch from the relation of working time to depth. *Nippon*

Suisan Gakkaishi, **36**, 455-461.
Maeda, H. and Minami, S. (1970b). Working time of Danish seiners during Alaska pollack fishery-V, Relation of working time to wind wave, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **36**, 549-555.
Maeda, H. and Minami, S. (1970c). Working time of Danish seiners during Alaska pollack fishery-VII, The relation of working time to the power of main engine. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **37**, 592-597.
Maeda, H. and Minami, S. (1971). Working time of Danish seiners during Alaska pollack fishery-VI, The relation of working time to wind wave after elimination of the influence of different amount of catch. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **36**, 1115-1121.
間野翼二 (1977). 養殖貝の耳吊装置. 特許出願公告, 公開昭 52-7559.
Salveson, M.E. (1955). The assembly line balancing problem, *Journal of Industrial Engineering*, **6**, 18-25.
Mansoor, E.M. (1964). Assembly line balancing —An improvement on the ranked positional weight technique—. *Journal of Industrial Engineering*, **15**, 76-77.
見上隆克 (1980). 機械化技術の考え方, I. 増養殖生産の機構, ホタテガイ増養殖と利用—増養殖の体系化に向けて. 水産学シリーズ 31. pp. 66-78, 恒星社恒星閣, 東京.
三輪千年 (1998). 漁業労働の現代的評価に関する研究, 北海道大学学位論文.
三輪千年 (1996). のり養殖生産工程のチェックリスト集計結果について, 漁業共済事業調査研究事業報告書. pp. 60-79, のり特定養殖共済に関する調査研究.
宮沢晴彦 (1981). ホタテガイ養殖地帯における漁場利用と漁業経営—北海道噴火湾森町の事例分析—. 漁業経済研究, **26**, 55-79.
宮沢晴彦, 佐野雅昭, 三木克弘 (1992). ホタテガイ養殖業の現状と課題—地域経済における経済的地位と経営・管理に関する考察—. 159 p., 北海道水産問題研究会, 東京.
宮沢晴彦, 佐野雅昭, 三木克弘 (1994). '80 年代におけるホタテガイ養殖業の生産構造再編. 北日本漁業, **22**, 13-25.
水島敏博 (1994). ホタテガイの養殖技術の現状と問題点. 北日本漁業, **22**, 1-12.
中嶋清一 (1971). 設備と工具管理. pp 71-88, 日刊工業新聞社, 東京.
並木高矣, 倉持 茂 (1970). 作業研究, 工場管理入門シリーズ 2. pp. 1-16, 日刊工業新聞社, 東京.
並木高矣, 佐々木脩, 遠藤健児, 倉持 茂, 大沢順太郎, 吉田裕夫, 高橋義一, 武岡一茂 (1985). 生産管理の分析と診断. pp. 59-69, 日刊工業新聞社, 東京.
日科技連 IE 研究会編 (1979). 初等 IE テキスト, 第 12 刷. 日科技連出版社, 東京.
西浜雄二 (1994). オホーツクのホタテ漁業. pp. 99-123, 北海道大学図書刊行会, 北海道.
農林統計協会 (1995). 平成 6 年度漁業白書. pp. 119-124, 農林統計協会, 東京.
農林統計協会 (1998). 平成 9 年度漁業白書. pp. 30-40, 農林統計協会, 東京.
大場史憲 (1995). 生産設備の有効利用におけるスケジューリングの役割. 機械の研究, **47**, 16-23.
岡村俊民 (1991). 農業機械化の基礎, 初版. pp. 262-292, 北海道大学図書刊行会, 北海道.
大阪市立大学経済研究所 (1992). 経済学辞典, 第 3 版, pp 359-360, 岩波書店, 東京.
長内健治 (1977). 異常ホタテガイ発生機構の基礎的研究. 青森県水産増殖センター事業概要, **8**, 100-123.
Pinto, P., Dannenbring, D.G. and Khumawala, B.M. (1975). A branch and bound algorithm for assembly line balancing with paralleling. *International of the Industrial Research*, **13**, 183-196.
Pinto, P., Dannenbring, D.G. and Khumawala, B.M. (1981). Branch and bound heuristic procedures for assembly line balancing with paralleling stations. *International of the Industrial Research*, **19**, 565-576.
境 一郎 (1976). 日本におけるホタテガイ養殖業. pp. 151-162, 水産北海道協会, 北海道.
境 一郎 (1979). ホタテガイ増養殖の現状と将来. 北日本漁業, **10**, 3-7.
境 一郎 (1980). ホタテガイ増養殖技術の総合的発展. 北日本漁業, **11**, 12-20.
さんま棒受網漁船研究会 (1970). さんま棒受網漁船研究会報告書. 118 p., 水産庁編, 社団法人全国さんま漁業協会, 東京.
Sarker, B.R. and Shanthikumar, J.G. (1983). A generalized approach for serial or parallel line balancing. *International J. Production Research*, **21**, 109-133.
猿谷 倫, 佐藤 実, 高橋 惇 (1964a). サンマ棒受網漁業の機械化についての研究-I, 揚網作業時に於ける機械化について. 昭和 39 年度茨城県水産試験所試験報告. 1-14.
猿谷 倫, 佐藤 実, 高橋 惇 (1964b). サンマ棒受網漁業の機械化についての研究-II, 揚網時における問題点の改良. 昭和 39 年度茨城県水産試験所試験報告, 1-13.
佐々木東一, 天野哲郎, 松本 翠 (1988). 十勝畑作地域における大型農用機械の利用実態分析. 北海道農業試験研究報告, **150**, 11-32.
佐藤 実 (1964). シラス曳網漁業の省力化について. 昭和 40 年度茨城県水産試験所試験報告, 15-20.
千住鎭雄, 川瀬武志, 佐久間章行, 中村善太郎, 矢田 博 (1989). 作業研究 (経営工学シリーズ 14), 第 2 版. pp. 31-68. 日本規格協会, 東京.
清水良平 (1962). 「新しい農業分析」(神谷憲治, 沢村東平監修). pp. 151-17, 東京大学出版会, 東京.
管野 尚 (1979). ホタテガイ養殖における大量へい死と技術劣化について. 北日本漁業, **10**, 18-28.
鈴木 旭 (1980). ホタテガイ養殖漁家経営の現状, III. 増養殖生産の漁家経営, ホタテガイ増養殖と利用—増養殖の

体系化に向けて (水産学シリーズ 31). pp. 106-117, 恒星社恒星閣, 東京.
高城重道 (1973). 生産工学概論. pp. 1-8, パワー社, 東京.
天間　征, 北倉公彦, 中西三郎, 加藤明治, 堀内一男 (1967). トラクターの更新に関する研究—十勝地方における更新の実態と更新適期について—. 帯広畜産大学学術研究報告, **5**(2), 303-311.
Terborgh, G. (1949). Dynamic equipment policy. 290 p., McGraw-Hill, Washinton D.C..
上田昌行 (1996). ホタテガイ貝毒問題の経済的研究. 北日本漁業, **24**, 59-72.
浦　智佳司 (1976). やさしい漁家経営簿記. pp. 67-84, 成山堂書店, 東京.
山下成治 (1990). ウニへのコンブ給餌の省力化. 北海道周辺海域の魚族資源シンポジウム, pp. 24-32. 北海道指導漁業協同組合連合会, 北海道.
山下成治 (1993). PERT によるウバガイ桁曳網漁業の作業分析. 噴火研究, **1**, 15-22.
Yamashita, N., Hamada, T., Mikami, T. and Hashimoto, S. (1995). System analysis of fishery production —A new approach for future fisheries—. The 17 Symposium on Remote Sensing for Environmental Sciences, IEEE, 21-28.
山下成治, 浜田武士, 見上隆克, 橋本　忍 (1995). 沿岸漁業の振興に伴う漁労作業の近代化とその評価. 噴火湾研究, **4**, 13-16.
山下成治, 浜田武士, 見上隆克, 橋本　忍 (1996). 八雲地区におけるウバガイ桁曳網漁業の出漁戦略. 噴火湾研究, **5**, 27-30.
彌永昌吉, 彌永健一 (1976). 集合と位相 I (岩波講座基礎数学, 解析学 (I)i). pp. 89-103, 岩波書店, 東京.