

5.1 寒冷地臨海施設の利用環境改善に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：寒冷沿岸域チーム、寒地技術推進室

研究担当者：小林圭、小玉茂義、木岡信治、大井啓司

【要旨】

積雪寒冷地の冬期における港湾・漁港において、荷役作業、漁労作業等の従事者は、冷風雪の厳しい作業環境にさらされている。こうした厳しい作業環境を克服し、北海道経済を支える重要な社会基盤である港湾・漁港の冬期の利用環境改善を図ることが求められている。この対策としては、防風雪施設が有効であるが、その効果を定量的に評価する手法は確立されていない。本研究では、低温室内における被験者実験を継続的に実施し、冬期就労環境改善効果を的確に評価できる温熱指標や作業効率推定手法などを検討した。冬期に実際の防風雪施設において被験者実験を行い、提案していた評価手法の妥当性を確認した。その研究成果及び既往資料を取りまとめ、施設の設計プロセスや評価手法を実務的に解説した港内防風雪施設設計ガイドライン（案）を作成した。

さらに、食の安全・安心の社会的ニーズが高まっている昨今、水産物においても衛生管理が求められている。防風雪施設などの屋根付岸壁が有する水産物の鮮度・清潔保持等について、定量的に評価する手法の確立を検討している。本年度は、屋根付岸壁が整備されている港湾・漁港での現地調査および陸揚げ～出荷・流通の過程を想定しての室内実験を実施し基礎資料を取得した。

現地調査と室内実験の結果を総合的に考察し、屋根下の気温から屋根下の魚体温の推定、屋根下と屋根外の魚体温差と日射量差から屋根外の魚体温を推定する手法を提案する。

キーワード：港内防風雪施設設計ガイドライン 温熱指標 作業効率 鮮度・清潔保持

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期における港湾や漁港の荷役作業、漁労作業等の従事者は、冷風雪の厳しい作業環境にさらされている。こうした厳しい作業環境下では作業効率の低下や健康障害、作業の安全性が懸念される。現在、北海道における港湾・漁港では防風雪施設（写 1-1）が整備されつつあるが、その効果を定量的に評価する必要がある。作業環境改善の効果を定量的に評価する手法を確立するため、与えられた作業環境において人体の温冷感や熱的快適感を標準的に用いられている 5 つの温熱指標及び WCI 改良型で検討した。その中で比較的相関性が高く、計算方法が気温と風速のみで簡便に求められる温熱指標 WCI¹⁾を提案した。

さらに、暴露時間と温熱指標をパラメータとして定式化を行い作業効率の推定モデル²⁾を開発した。

これら成果の普及を図るため、現状での評価ツールに加えて既往整備施設の構造や設計に関わる技術的知見、利用の現状を体系的に整理し、港内防風雪施設設計ガイドライン（案）（以下ガイドライン）を作成した。このガイドラインは、防風雪施設設計を行う技術者が調査・計画・設計を円滑に進めるために、施設整

備の考え方を整理したものである。ガイドラインでは、防風雪施設の有する機能、設計手法及び整備効果^{3)、4)}を示している。

防風雪施設の整備効果については、漁業就労者の寒冷下における作業環境改善の効果及び作業効率の低下を定量的に評価している。あわせて、研究成果を用いて便益算定の手法についても掲載した。これにより、防風雪施設の作業効率による費用対効果を算出することができるものとなった。

一方、防風雪施設のように屋根を有する岸壁（以下屋根付岸壁）は、水産物の鮮度・清潔保持に有効である。現在、水産物の流通の起点である漁港では、衛生



写 1-1 大津漁港防風雪施設

管理上有効な屋根付岸壁の整備が行われている。しかし、屋根付岸壁においては、陸揚げされた水産物に対して、魚体の温度（以下魚体温）の上昇による鮮度低下や菌の増殖を抑制する効果があると言われているが、その効果を定量的に評価する手法は確立されていない。

本年度は、昨年度に引き続き屋根の効果把握するために、屋根付岸壁が整備されている漁港において、日射による魚体温の上昇が鮮度低下及び菌の増殖に与える影響の調査を実施した。さらに、寒地土木研究所低温実験室において、気温の違いによる魚体温と鮮度の関係を把握するため、室内温度4ケースについて実験しデータを取得した。

現地調査と室内実験の結果より、室内実験及び屋根下の気温から屋根下の魚体温の推定、屋根下と屋根外の魚体温差と日射量差から屋根外の魚体温を推定する手法を提案する。

2. 屋根付岸壁における水産物の鮮度保持に関する調査

屋根の効果を定量的に評価する要因として、水産物の鮮度・清潔保持に着目している。本研究では、昨年度に引き続き現地調査を実施し、屋根の整備により水産物の鮮度・清潔保持にどのような効果が得られるか検証した。さらに、室内実験により室温別による経時的な鮮度変化を検証した。

2.1 現地調査

鮮度保持に関わる魚体温の上昇は、日射量の影響⁵⁾によるものと想定している。そこで、本年度は気温、魚体温に加えて日射量の測定を追加した。

魚体の鮮度に関しては、昨年度に引き続きK値の測定を行った。しかし、昨年度実施した鮮度試験紙によるK値10%以下の判定が難しいため、ATP関連化合物を分析できる高速クロマトグラフィーによる測定を実施した。

魚体の体表菌計測に関しては、昨年度は一般細菌を対象としたが、本年度は低温細菌を対象とした。菌は発育温度の違いにより、高温菌・中温菌・低温菌・好冷菌に別れている。中高温での計測には一般細菌の計測が適当であるが、魚は通常低温下で取扱われることが多いため低温細菌の計測に変更した。

2.1.1 調査内容

(1)調査箇所

調査箇所は、室蘭港と久遠漁港である（写1-2,3）。

(2)調査対象魚種

調査対象魚種は、室蘭港はクロソイの活魚、久遠漁



写 1-2 室蘭港 屋根付岸壁



写 1-3 久遠漁港 屋根付岸壁

港はヒラメの活魚である。活魚を用いる理由は、魚が底引き網や刺し網等で水揚げされる際に斃死しており、斃死した時間にバラツキがあり正確な鮮度が比較できない懸念があるため、魚を同時に絞めることによりそのようなリスクを回避するためである。

(3)調査時期

調査時期は、室蘭港では8月下旬、久遠漁港では9月上旬で共に晴天の日に実施した。

(4)調査魚体数

調査魚体数は、屋根外と屋根下で魚体温の測定に各1尾、魚体の鮮度、体表菌の測定に各3尾、屋根外で雨水の影響による鮮度の測定に3尾とした。

(5)調査項目

調査項目は、表2-1に示す。なお、清潔保持の観点においては、流通段階における温度管理は、通常低温下で管理していることが多いことから、低温下での菌の増殖に着目し、低温細菌の計測を実施した。

図2-1に微生物の発育温度域を示す。

(6)調査時間

屋根下での水産物取扱い作業の順番は、陸揚げ・荷揚げ・セリ・出荷（保冷車等積込み）の順番であり、この間の作業時間は、漁業協同組合に聞き取りして盛

表 2-1 現地調査項目

観点	項目
鮮度保持	屋根下と屋根外で気温の測定
	陸揚げ～流通まで想定しての魚体温の測定
	魚体温の上昇要因として日射量の測定
	魚体の鮮度判定として生鮮魚介類の鮮度判別指標であるK値の測定
	雨の影響を想定した模擬実験による魚体の鮮度（K値）の測定
清潔保持	魚体の体表から採取した低温細菌の計測



写 2-1 魚体温の測定

d)魚体の鮮度

魚体の鮮度は、K値で確認する。K値の測定は、屋根下と屋根外で実施した。測定時間は、室蘭港では調査開始時、4時間後、9時間後の3回、久遠漁港では調査開始時、4時間後、9時間30分後の3回とした。

K値は、高速クロマトグラフィーによりATP関連化合物を分析し算出した。高速クロマトグラフィーの分析に必要な試料は、魚体の切身2g程度を切除し、固定化液の試験管に入れ、0～5℃で保管したものである。

e)雨水の影響による鮮度

雨水の影響による魚体の鮮度については、模擬実験で実施した。模擬実験は、屋根外で魚体を4時間蒸留水入りポリ容器に入れ浸した。K値の測定は、d) 魚体の鮮度と同時とした。

f)魚の体表菌

低温細菌の計測は、屋根下と屋根外でd) 魚体の鮮度と同時とした。低温細菌は、魚体の表面積1cm×5cmを拭き取ったもので培地を作成し16℃～20℃で培養したものを計測する。

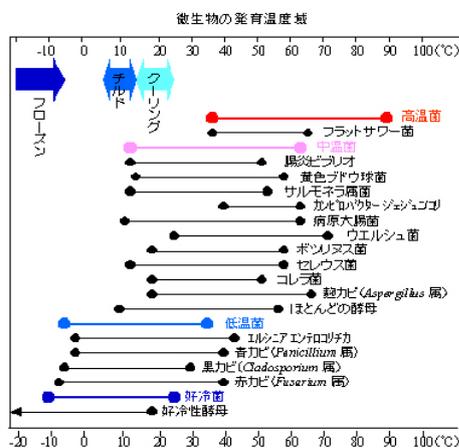


図 2-1 微生物の発育温度域⁶⁾

漁期で4～5時間と回答を得たので、屋根下での調査時間は4時間とした。調査開始時を9:30とし屋根下では4時間、その後は消費地（札幌）までの流通を想定して実施した。

(7)調査方法

魚体は、調査開始時に活〆し、現地ではプラスチックパレット上に置き、流通ではロックアイスを敷き詰めた発泡スチロール箱に入れ運搬した。

a)気温

気温の測定は、気温計により屋根下と屋根外で9:00～14:00まで連続測定した。

b)魚体温

魚体温の測定は、魚体の体内に温度計を挿入し、プラスチックパレット上に置き、屋根下と屋根外で9:30～14:00まで、その後消費地まで連続測定した(写2-1)。

c)日射量

日射量の測定は、全天日射計により屋根下と屋根外で9:00～14:00まで連続測定した。

2.1.2 調査結果

a)気温の経時変化

図2-2, 3は気温の経時変化を示しており、縦軸に気温、横軸に時間を示している。青線が屋根外、赤線が屋根下である。気温は、室蘭港では屋根下が高く、久遠漁港では屋根外が高い。施設形状や気象条件により屋根下と屋根外の気温は逆転することがある。しかし、屋根の有無による気温差がほとんど見受けられない。このことから、気温については、屋根を設置することの優位性は得られない。実際に、室蘭港、久遠漁港ともに気温差は±2.0℃以下で推移している。

b)魚体温と日射量の経時変化

図2-4, 5は魚体温と日射量の経時変化を示しており、左縦軸に魚体温、右縦軸に日射量、横軸に時間を示している。青線は屋根外、赤線が屋根下、緑線が屋根外

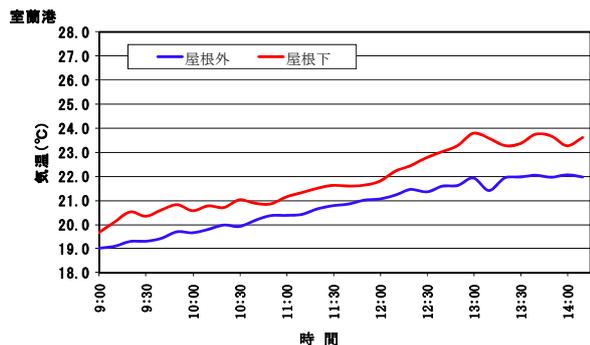


図 2-2 室蘭港の気温の経時変化

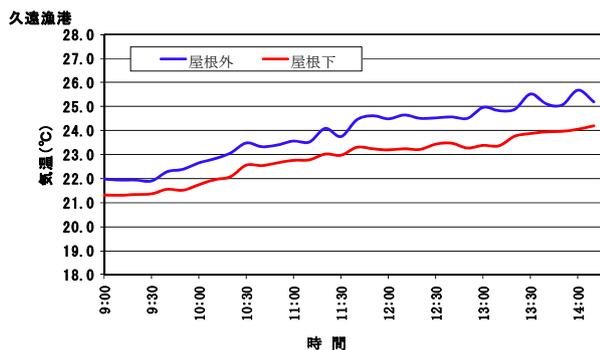


図2-3 久遠漁港の気温の経時変化

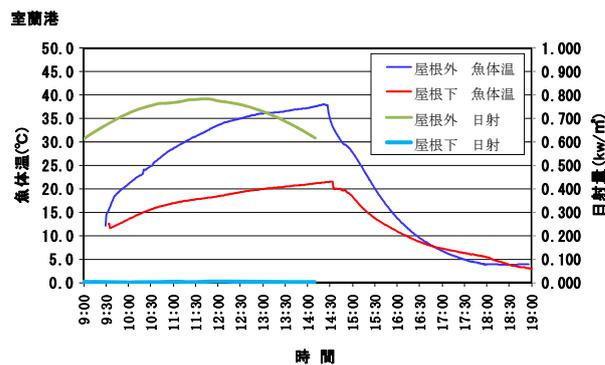


図2-4 室蘭港の魚体温と日射量の経時変化

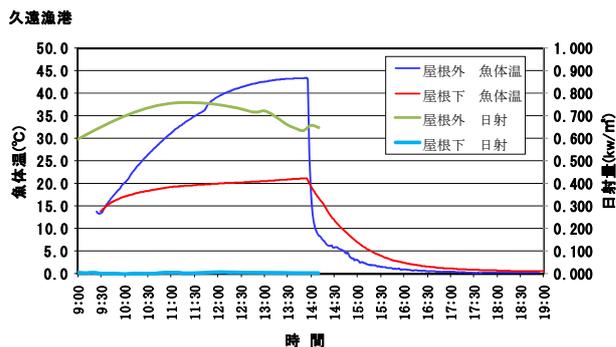


図 2-5 久遠漁港の魚体温と日射量の経時変化

日射量、水色線が屋根下日射量である。

魚体温は、4時間後に屋根下では20°C位まで上昇し、屋根外では40°C前後まで上昇した。これは、屋根外では日射量の影響が大きいことを示している。日射量と魚体温のピークには時間のずれが見られる。

魚体温は、気温の変化（特に上昇）に緩慢であるが、日射については敏感に反応する。このことから、日射を遮ることができる屋根は、魚体温の上昇抑制に対して有効であり良い環境を創出している。

c) 魚体の鮮度と雨水の影響による鮮度

図2-6はK値の経時変化を示しており、縦軸にK値、横軸に経過時間を示している。青線が屋根外、緑線が雨水の影響による鮮度、赤線が屋根下である。

水産物の種類により生食できるK値の上限値は異なるが、通常、20%が上限値であると言われている。そこで、本報告ではK値20%を上限値として考える。調査開始から4時間後のK値は、2港とも屋根外では80%強、雨水の模擬実験では20%強、屋根下では10%以下となっている。4時間後には屋根下以外について生食に適さないことが分かる。

雨水の模擬実験においては、調査開始から9時間後、K値は40%近くまで上昇しており、出荷後の鮮度低下が屋根下より早いことが伺える。

屋根下においては、調査開始から9時間後において室

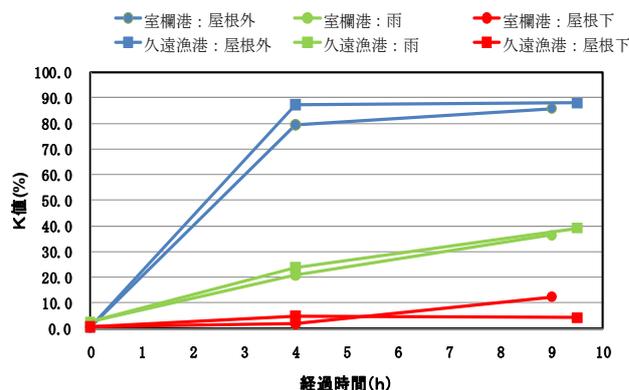


図2-6 室蘭港・久遠漁港のK値の経時変化

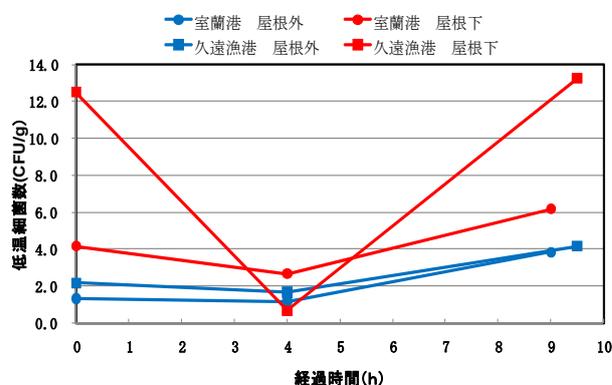


図 2-7 室蘭港・久遠漁港の魚体の体表菌

蘭港では13%、久遠漁港では4%とK値が20%を大きく下回っている。このことから、屋根下は、日射や雨水

5.1 寒冷地臨海施設の利用環境改善に関する研究

の影響を受けないため、適切な鮮度保持に有効であることが分かる。

d) 魚体の体表菌

図 2-7 は低温細菌の経時変化を示しており、縦軸に低温細菌数、横軸に経過時間を示している。青線が屋根外、赤線が屋根下である。

初期菌数のオーダーが低く、経時的な菌数の増加もみられない。また、屋根下と屋根外での菌数の差もそれほど多くみられない。

2.2 室内実験

室内実験は、現地調査を踏まえ、陸揚げ～流通までを視野に入れ、室内の温度別による魚体温、魚体の鮮度、魚体の体表菌について、実験開始から 5 日目までのデータを取得した。

2.2.1 実験内容

(1) 実験箇所

実験箇所は、寒地土木研究所内の低温実験室。

(2) 実験対象魚種

室内実験で使用する魚種は、クロソイの活魚。

(3) 実験魚体数

実験魚体数は、魚体温の測定に 1 尾、魚体の鮮度及び体表菌の測定にそれぞれ 3 尾とした。

(4) 実験項目

実験項目は、表 2-2 に示す。なお、清潔保持の観点においては、現地調査同様に流通段階の低温下での菌の増殖に着目し、低温細菌の計測を採用した。

表 2-2 室内実験項目

観点	項目
鮮度保持	陸揚げ～流通までを想定しての魚体温の測定
清潔保持	魚体の体表から採取した低温細菌の計測

(5) 実験方法

室内温度を実験開始時から 4 時間 30 分後まで一定温度に保ち、その後 30 分間で流通温度に保ち、5 日目まで測定した。室内温度は、0℃、10℃、20℃、30℃の 4 ケース、流通温度は想定温度である 5℃とした。

室内実験での室内温度及び K 値の測定時間は、図 2-8 のフローに示す。

a) 魚体温

魚体温の測定は、クロソイの体内に温度計を挿入し、5 日間連続観測した。

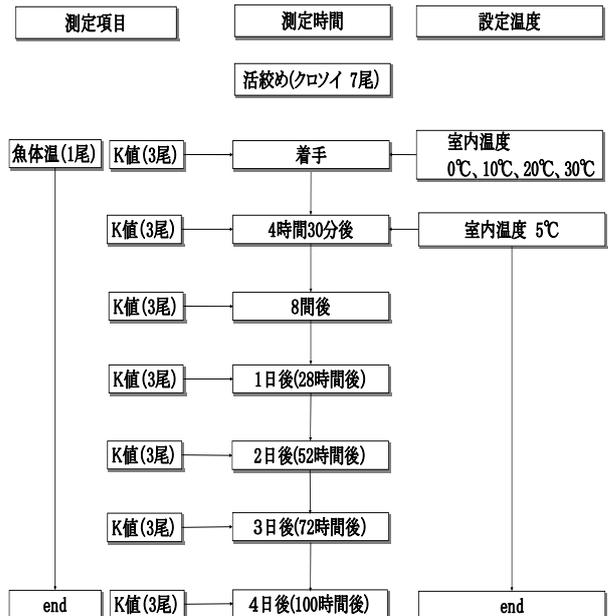


図 2-8 室内実験の室内温度及び K 値測定時間フロー

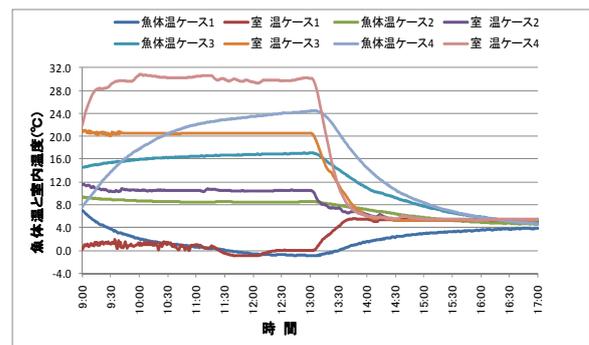


図 2-9 魚体温と室内温度の経時変化

b) 魚体の鮮度

魚体の鮮度は、K 値の測定とし高速クロマトグラフィーにより ATP 関連化合物を分析し算出した。

c) 魚体の体表菌

菌を採取する際、現地調査において魚体表面の拭き取り箇所を回数毎変えたことによる試料ムラを踏まえ、同一試料から種分けを行うことで初期条件の統一化を図り培養し分析した。

2.2.2 室内実験結果

(1) 魚体温と室内温度の経時変化

図 2-9 は魚体温と室内温度の経時変化を示しており、縦軸に魚体温と室内温度、横軸に時間を示している。室内温度は、ケース 1 ; 0℃、ケース 2 ; 10℃、ケース 3 ; 20℃、ケース 4 ; 30℃とし、4 時間後に 5℃に設定した。

魚体の初期温度にばらつきはあるが、室内温度が高くなるにつれて、魚体温の上昇が徐々に鈍化している

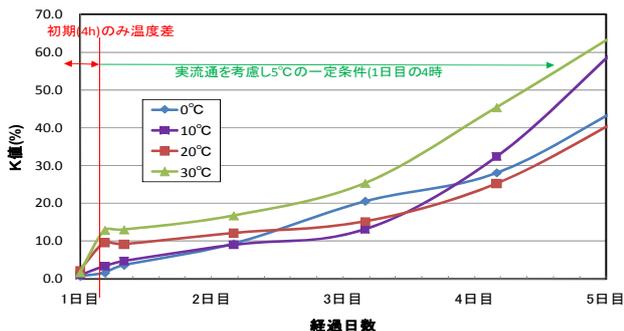


図 2-10 K値の経時変化

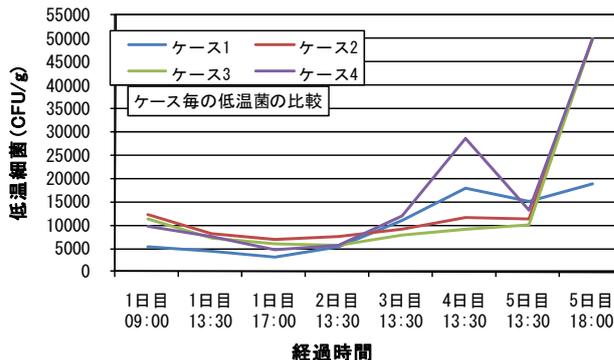


図2-12 低温細菌の経時変化

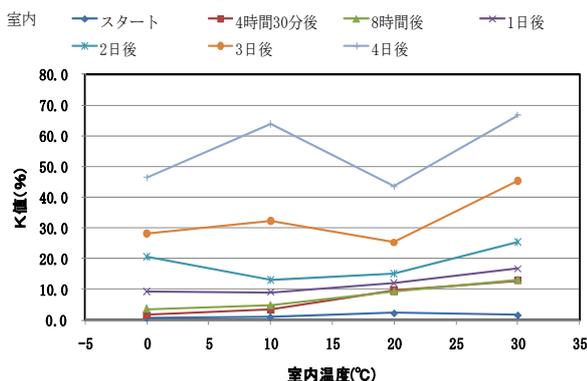


図2-11 室内温度によるK値の経時変化

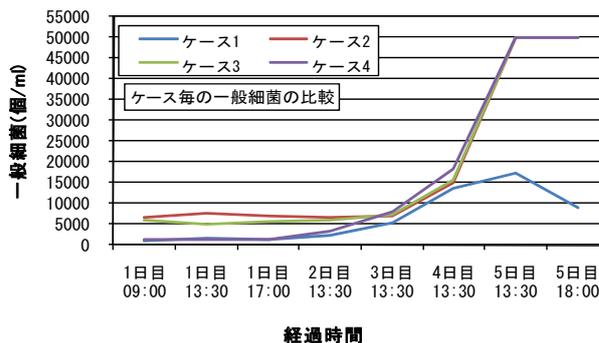


図 2-13 一般細菌の経時変化

ことが伺える。

(2)魚体の鮮度

図2-10はK値の経時変化を示しており、縦軸にK値、横軸に経過日数を示している。流通段階において魚体を低温に管理しても陸揚げから出荷間の気温の違いが鮮度に影響を与えることを確認した。室内温度10℃のK値が3日目以降に急激に上昇し、他のケースと傾向が異なるため検証が必要である。

図2-11は、室内温度別によるK値の経時変化を示しており、縦軸にK値、横軸に室内温度を示している。前述で述べたとおり、K値20%が生食の限界だと考えると、20%を超えるのは30℃の場合は1.5日後、10℃及び20℃の場合は2.5日後、0℃の場合は2日後となる。このことから、屋根下での魚体温が20℃以下の場合、生食としての流通域が1日程度広がり販路の拡大が期待できる。

今後、検体数を増やしデータの信頼性を向上するとともに屋外でのK値把握のために30℃以上の室温のケースも追加実験し標準化することが必要である。

(3)魚体の体表菌

低温細菌に加え菌の違いによる変化を見るために、一般細菌の測定も同時に実施した。

図2-12, 13は、菌数の経時変化を示しており、縦軸に菌数、横軸に経過時間を示している。

低温細菌、一般細菌ともに2日後からすべてのケースで菌が殖え始めている。このことから、初期の魚体温の違いが菌の増殖に与える影響はないものと考えられる。

低温細菌、一般細菌ともに2日後からすべてのケースで菌が殖え始めている。このことから、初期の魚体温の違いによる菌の増殖に与える影響はないものと考えられる。

3. 考察

現地調査と室内実験の結果より、以下に屋根付岸壁の鮮度・清潔保持効果に関する考察を示す。

3.1 屋根下の気温と魚体温の相関分析

屋根下の魚体温は、屋根下の気温に依存すると考え、現地調査と室内実験の結果より相関を検証した。

検証に使用した気温と魚体温は、本実験では魚体温の初期温度が一定でないため、陸揚げから4～5時間後の測定値とした。図3-1は、縦軸に「4～5時間後の屋根下(室内)の魚体温」、横軸に「4～5時間後の屋根下(室内の気温)」を示している。

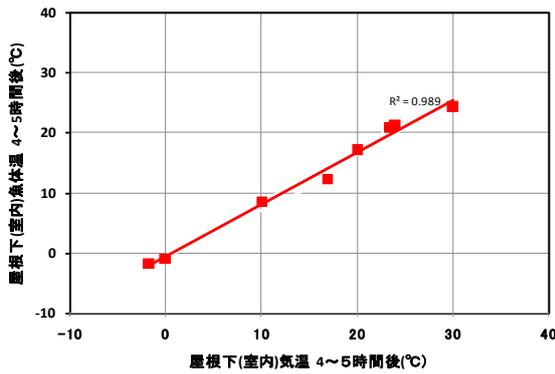


図 3-1 屋根下（室内）の気温と魚体温との相関

表 3-1 簡易近似式による魚体

	室内又は屋根下の気温 (°C)	室内又は屋根下の魚体温 (°C)	簡易近似式(気温 × 0.9)による魚体温(°C)
室内試験	0	-0.9	0.0
	10	8.6	9.0
	20	17.1	18.0
	30	24.3	27.0
室漁港	23.3	20.9	21.0
久遠漁港	24.0	21.2	21.6
羅臼漁港	16.86	12.34	15.17
登別漁港	-1.79	-1.69	-1.584

このことから、屋根下（室内）の気温と魚体温については、非常に高い相関を有する。また、両変数の近似式より、屋根下（室内）の気温に0.9を乗じると、屋根下（室内）の魚体温について予測可能なことが示唆された。屋根下（室内）の気温に0.9を乗じた結果を表3-1に示す。

3. 2屋根外の日射量と魚体温の相関分析

屋根下と屋根外の魚体温の差は、日射量によって生きていることから、屋根の有無による日射量差の積分量と魚体温差の積分量について相関を検証した。

図3-2は縦軸に日射量、横軸に時間、また、図3-3は縦軸に魚体温、横軸に時間を示している。黄色着色部分は、それぞれ日射量差及び魚体温差の積分算量である。現地での魚体温が安定した10:00~14:00までを対象とし、図3-2, 3の差分について積分した結果を表3-2に示す。

計測した瞬間日射量については、 $W=J/s$ のため時間を乗じることでJ換算している。また、 $MJ=10^6J$ である。

図3-4は、縦軸に魚体温差積分量、横軸に日射量差積分量を示している。ここに表3-2の値をプロットす

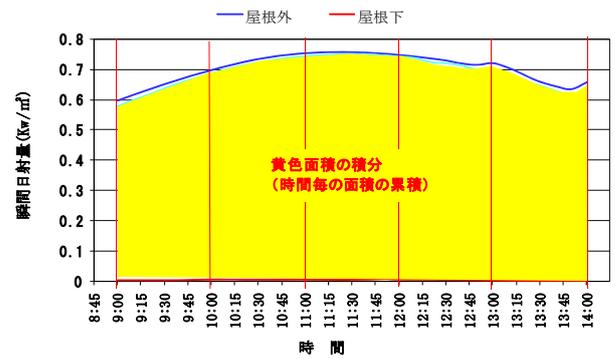


図 3-2 日射量差の積分イメージ

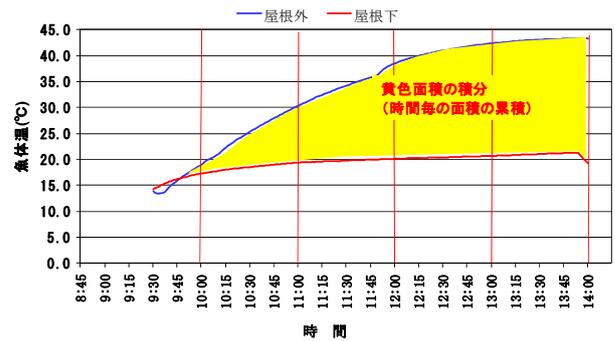


図 3-3 魚体温差の積分イメージ

表 3-2 日射量及び魚体温の差の積分

	室欄港		久遠漁港	
	日射量差積分 (MJ/m²)	魚体温差積分 (°C·t)	日射量差積分 (MJ/m²)	魚体温差積分 (°C·t)
10:00	2.444	7.0	2.373	1.6
11:00	5.156	546.1	5.022	398.2
12:00	7.951	1333.7	7.739	1270.1
13:00	10.653	2269.0	10.358	2499.6
14:00	13.088	3233.9	12.751	3829.2

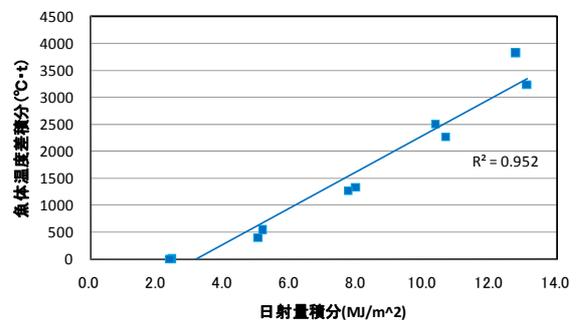


図3-4 日射量と屋下・外の魚体温差の相関

ると、屋根の有無による日射量差の積分量と魚体温差の積分量については非常に高い相関を有することが分かった。なお、表3-2は、晴天の日の結果を示して

いるため、今後は様々の気候について検証していく必要がある。

4. まとめ

屋根付岸壁の整備により得られた結論は以下のとおりである。

4.1 現地調査

(1) 日射や雨水から魚体を防護することにより鮮度低下を抑制する効果を定量的に確認した。

(2) 魚体の体表菌は、屋根下と屋根外では大きな差が見られない。屋根を設置する効果は菌の増殖防止よりも、鳥糞や害獣進入などの付着防止などに効果があると考えられる。

4.2 室内実験

(1) 陸揚げ～出荷間の気温の違いは、流通段階で魚体を低温に管理しても鮮度に影響を与えることを確認した。

(2) K値20%以下が生食の限界と言われていることを参考にすると、屋根の設置により魚体温が20℃以下の場合、流通域が1日広がる可能性がある。

(3) 細菌については、初期の温度の違いによって菌の増殖傾向に変化が見られないことが確認された。

4.3 考察

(1) 屋根下の気温と魚体温について相関が高いことが判明し、屋根下での魚体温の予測が可能と考えられる。

(2) 屋根外と屋根下の魚体温差の積分量と日射量差の積分量については、高い相関があること確認した。このことから、日射量差による魚体温の上昇温度について予測が可能と考えられる。

5. 今後の課題

今後の課題は以下のとおりである。

(1) 室内実験の10℃は、他の温度の鮮度と傾向が違ったため検証の必要がある。

(2) 屋根外の魚体温が45℃付近まで上昇したことを踏まえて、屋根外でのK値把握のために室温40℃、50℃のケースについて追加実験が必要である。

(3) 屋根下（室内）の気温（室温）と魚体温の相関について、検体数を増やしデータの信頼性を向上する必要がある。

(4) 屋根下と屋根外の日射量差の積分量と魚体温差の積分量の相関について、検体数を増やしデータの信頼性を向上する必要がある。また、様々な気象条件での検証が必要である。

(5) K値による評価に加え、水産物の目利き等による感応試験等により貨幣化することが必要である。

参考文献

- 1), 2), 3), 4) 木岡信治・山本泰司・小玉茂義・小林圭(2009) : 冬季の漁港等における防風雪施設内の作業効率に関する被験者実験、海岸工学論文集、第56巻、pp1291-1295.
- 5) 小林圭・小玉茂義・廣部俊夫 : 屋根付岸壁における水産物の鮮度保持等に関する現地調査、北海道開発技術研究発表会、2008.
- 6) 西日本地区の公益法人が、飲料水と食品に関する公衆衛生情報を発信し、技術面および経営面での健全な発信への協議を活発に行うためのネットワークのホームページより引用

STUDY ON IMPROVEMENT OF UTILIZATION OF COASTAL FACILITIES IN THE COLD REGION

Abstract : Workers engaged in cargo handling, fishing and other operations at harbors and fishing ports during the winter in cold, snowy regions are exposed to severe working environments characterized by freezing winds and snow. Accordingly, there is a need to mitigate the hardships of such environments and improve conditions for the winter usage of harbors and fishing ports, which are important pieces of infrastructure supporting Hokkaido's economy. While wind and snow shelters are considered effective as countermeasures, no methods have yet been established for the quantitative evaluation of their actual effectiveness. In this study, continuous experiments were conducted in a low-temperature chamber to examine thermal indexes and investigate a work efficiency estimation method for appropriate evaluation of working environment improvement effects in winter. The experiments were conducted in winter at actual wind and snow shelters to confirm the validity of the proposed evaluation method. The study results and past data were brought together to create the Design Guidelines for Wind and Snow Shelters in Ports (draft), which provides practical explanations on facility design processes and evaluation methods.

Improved hygiene management for marine products is also necessary in response to recent increased social needs for food safety and security. The authors aim to establish a method to quantitatively evaluate approaches for the preservation of marine product freshness and cleanliness using wind and snow shelters and other roofed wharfs. This year, field surveys were conducted at harbors and fishing ports with roofed wharfs, and laboratory experiments to simulate the processes from landing to shipment/distribution were conducted as a way of obtaining basic data. The field survey and laboratory experiment results were considered collectively to enable the development of methods to estimate the body temperature of fish in roofed environments using the air temperature under the roof, and to also estimate body temperatures outside roofed environments by comparing the body temperature of fish and the amount of solar radiation in roofed areas with those in non-roofed areas.

Keywords: Design Guidelines for Wind and Snow Shelters in Ports, thermal index, work efficiency, preservation of freshness and cleanliness