

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

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：本山賢司、小玉茂義、木岡信治、大井啓司
八柳敦

【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評価マニュアル（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を配置した岸壁（以下、屋根付岸壁という）が有する水産物の鮮度保持効果について、定量的に評価する手法の確立を検討している。屋根付岸壁が整備されている港湾・漁港の現地調査とともに、陸揚げ～出荷・流通の過程を想定した室内実験を実施し、基礎資料を取得した。その結果、これまでの調査および実験の結果を総合的に考察し、屋根付岸壁が有する鮮度保持効果に関する評価項目を示すとともに、屋根付岸壁の日射防止による鮮度保持効果の推定手法および貨幣化について提案した。

キーワード：港内防風雪施設設計評価マニュアル 温熱指標 作業効率 鮮度保持効果 評価手法

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・漁港では港内防風雪施設（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、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評価マニュアル（案）（以下マニュアル）を作成した。このマニュアルは、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。マニュアルでは、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、昨今、国民の間に食の安心・安全の社会的ニーズが高まっており、水産物の流通拠点である漁



写 1-1 大津漁港防風雪施設

港においては、水産物の鮮度保持および清潔保持についてソフト・ハード対策を一体とした衛生管理機能の向上を図っている。主なハード対策として、屋根付岸壁、清浄海水の導入施設、排水の適正処理施設があり、このうち屋根付岸壁は、魚体の温度（以下、魚体温という）上昇の抑制、雨水による鮮度低下の抑制や鳥糞等の混入防止に効果があり、水産物の品質向上を図る役割があるとされている。

寒地土木研究所では、初期の水産物の取扱状況図（図 1-1）における屋根付岸壁の水産物の鮮度保持効果効着目し、その定量的な評価手法の確立を目指し、平成 20 年度の現地調査と平成 21 年度の現地調査及び室内実験から「水産物の鮮度保持における日

射を遮ることの有効性」⁵⁾、「魚体温と日射量の相関性」⁶⁾を明らかにした。平成 22 年度には、昨年度に引き続き屋根付岸壁が整備されている港湾・漁港の陸揚げ～出荷・流通の過程を想定した室内実験及び日射量の影響に関する実験を実施し、陸揚げ時の気温および降雨による魚体鮮度の関係、魚箱を利用した場合の日射の影響に関する基礎資料を取得した。その結果、これまでの調査および実験の結果を総合的に考察し、屋根付岸壁の日射防止による鮮度保持効果の推定手法とともに、屋根付岸壁が有する鮮度保持効果に関する評価項目と貨幣化について提案する。

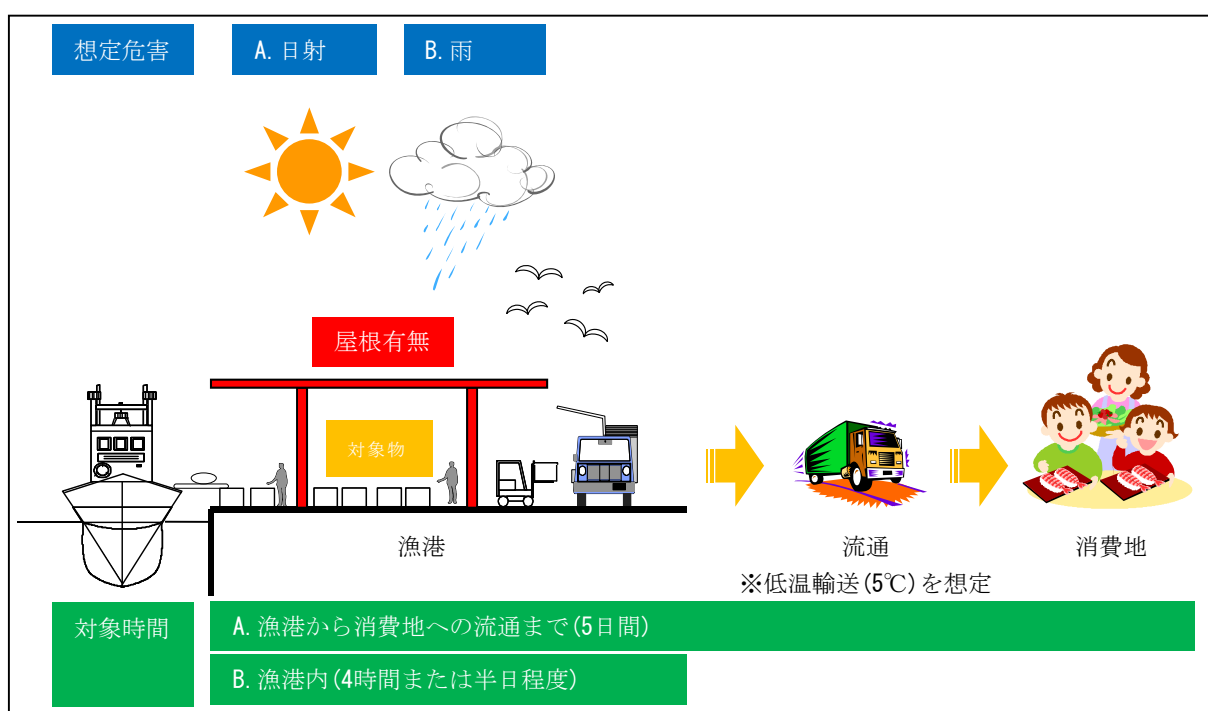


図 1-1 屋根付岸壁での水産物の取扱状況

2. 港内防風雪施設内の作業環境と作業効率評価指標の提案

2.1 検討する評価指標について

冬季作業環境が作業者の作業環境に与える影響を定量的に評価するためには、人体の温冷感覚や温熱的快適感（苦痛の程度など）などの主観的温熱感覚量を考慮した冬期作業環境の評価を適切に行う必要がある。そのため、主としてオフィスなど室内の作業環境評価に標準的に用いられている温熱環境指標、及び暫定的に防風雪施設整備の作業環境改善効果の評価に適用が試みられている WCI の有効性を検討することとした。ここでは、まず、検討対象とした温

熱指標について簡単に説明しておく。

温熱的快適性や温冷感等の人間の温熱感覚を左右するのは、人体と環境との間の熱交換の結果である熱収支量である。この熱交換プロセスには、おもに 4 つの温熱要素（気温(t_a)、平均放射温度(t_r)、相対湿度(rh)、風速(v)と 2 つの人間側の要素である代謝量、着衣量(I)が影響していると考えられている。温熱環境を評価するために、これらの要素を組み合わせでできた変量を温熱指標と呼んでいる。

低温環境下における適応性を検討した既往の温熱指標と、それを改良して構築した新指標は以下の通りである。

① 作用温度 (operative temperature) (t_o)

作用温度は、気温と平均放射温をそれぞれの熱伝達にかかわる熱伝達率で重み付け平均化したもので、本研究では、平均放射温度をグローブ温度、気温、風速から推定した。また、対流熱伝達率に Nishiki and Gagge (1970)の式を用いた。

② SET*(Standard Effective Temperature)

人体の深部層と皮膚層の2層モデルにより表現した熱平衡方程式に基づく体感指標である。ASHRAEで標準的体感温度として採用されている。簡略的には、SET*とは実在環境を、相対湿度が50%、気流速度が0.1m/s、代謝量が1met および実質着衣量が0.6cloとした標準環境に換算したときの気温に相当する。

③ 風冷指数 WCI (Wind Chill Index)

人体の皮膚温度を模した表面温度 33℃の円筒から奪われる熱量を気温と気流の2つの変数の関数として表したものである。もともとは、寒冷環境における凍傷予防のために提案された実験的指標で、次式で表される。

$$WCI = (10.45 + 10\sqrt{v} - v)(33 - t_a) = f(v)(33 - t_a)$$

④ TL (温度負荷量)

寒暑の感覚は皮膚温度受容器からの生体信号と深部温度受容器などからの信号の統合により高次的に決定されていると考え、情報の統合様式として加算的結合を用いた指標である。

⑤ TSI (温冷感指数)

作用温度 t_o と風速 v から算出できる簡易な指標であり、WCIと同様に人体側の条件は考慮されていないが、屋外環境での放射が考慮されている。TSIは基準温度 $T_b (=36.8^\circ\text{C})$ 、調査結果に基づき設定される無次元パラメーター a_1, a_2, a_3 を用いて次式で表される。

$$TSI = a_1(\sqrt{v} + a_2)(T_b - t_o) + a_3$$

⑥ WCI 改良型

WCIに必要な入力条件は風速と気温のみで、計算も簡便であることの意義は実用的観点からも大きく、この改良型 (WCI_{new}) の構築を試みた。寒冷環境下で実施された貴重な実験結果に基づいているWCIの利点を残しつつ、理論的考察から、人体の熱収支に影響を及ぼすと考えられる着衣量や日射、それに間接的に局所冷却感を考慮できるよう留意した。この場合、WCIのモデルである裸体である円筒に着衣を着

せたものとし(中空円筒)、中空円筒管の熱伝導方程式と、表面での熱収支を算定することにより求めるものである。

2. 2 被験者実験

2.2.1 実験条件

実験は、主に低温観測室で実施し、札幌市在住の20代~50代の各年代、男女各4名の合計8名を被験者とした。着衣量は「light」と「heavy」の2ケースであり、「light」は、下着、セーター、ももひき、および上下作業着を着用したもの、「heavy」は、さらに上下防寒服を着用したものである。主な実験条件を表2-1に示す。温熱環境条件は、気温 $-10^\circ\text{C} \sim +10^\circ\text{C}$ の範囲で行い(1ケースのみ、無風・室温 27°C 、着衣[light]の温暖状態で実施)、風速は、大型扇風機を用い、3ケースの風速を発生させた(0.66~2.31m/s)。被験者は実験毎に45分間暴露され、図2-1に示す温冷感や熱的快適感などの温熱心理反応を15分間隔で自己申告し、その後温室内で60分間程度の休息をとり、次の実験に備えた。

表 2-1 主な実験条件

気温 (°C)	-10.1 ~ +10.4 (1ケースのみ 27°C)
グローブ温度(°C)	-9.96 ~ +10.5
平均風速(m/s)	0.66 ~ 2.31m/s
相対湿度 (%)	52.2 ~ 60.5%
着衣量(clo)	1.9 (light), 2.9 (heavy) [手には軍手とゴム手袋着用]
作業量(met)	1.0 (椅子座), 1.6 (軽作業)

注) 表中の数値は、各実験ケースの暴露時間内での平均値
指標計算に必要な平均放射温度はグローブ温度、風速より推定

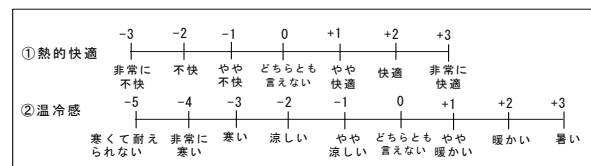


図 2-1 主な温熱心理反応の主観申告項目

次に、温熱環境が作業能力へ及ぼす影響(寒さによる作業能力低下)を把握するために、被験者実験で行う作業条件の設定については、以下の5点のポイントを考慮した。

①実際の岸壁敷における漁獲物の網外し作業について、作業の中心となる身体部位、作業の複雑さ、及び作業継続時間等を適切に考慮した模擬作業を設定する必要がある。

②作業能力は、作業継続時間内で設定する単位作業時間内で実施した作業度数で計測することから、暴露環境下における継続時間内での作業能力の変化を

確認するためにも、ある程度短時間で回数が行えるものである必要がある。

③指先を使う作業であり、被験者の熟練の度合いに応じて実験初期段階と作業能力が改善されてくる可能性があり、熟練の影響について実験段階で注視する必要がある。

④模擬作業としての妥当性だけでなく、設定した模擬作業が作業能力試験として妥当なものかもチェックしておく必要がある、すでに作業能力試験として十分実績がある試験を並行ランで実施して比較評価する必要がある。今回は、厚生労働省の一般職業適性検査として使用されているペグボード試験を並行ランとして実施した。

⑤実際の現場では、魚の箱詰めや網外しなどといった持続性を有する作業もあることから、持続性を有する簡易的なモデル作業を導入する。

以上より、代謝量による違いを考慮することに加えて、寒さが作業能力に及ぼす影響を定量的に把握することを目的として、椅子座での「静止」と、作業能力を計測することも目的とした4種類の作業を実施した。指先を使う異なった3種類の作業（ペグボード試験；Task A（写真 2-1）、細棒に輪を順次入れていく作業；Task B（写真 2-2）、タッピング試験；Task C（写真 2-3）と、持続性を有する簡易的なモデル作業（紐結び；Task D（写真 2-4））により検討した。作業効率に関する対象作業の実施年度を表 2-2 に示す。

表 2-2 モデル作業の実施年度

名称	内容	実施年度
Task A	ペグボード試験	平成 18, 19 年度
Task B	細棒に輪を順次入れていく作業	平成 18 年度
Task C	タッピング試験	平成 (17), 19 年度
Task D	継続性を有する作業 (紐結び)	平成 19 年度

各種作業の代謝量については、将来的な現場への実用性に配慮し、種々の身体活動に応じた代謝率の一覧表 (ASHRAE ndbook, 1993) ⁷⁾ から簡易的に推定することとし、椅子座は 1.0met、Task A は 1.2met (ファイリング座業を準用)、Task B、Task C、Task D のモデル作業は 1.6met (軽作業を準用) を採用した。着衣量についても同様な理由により、簡易的に衣服

重量 (Hanada et al., 1992) ⁸⁾ から推定した。環境側計測項目は、気温、風速、グローブ温度、相対湿度である。

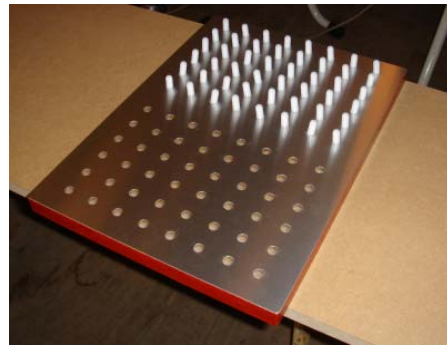


写真 2-1 Task A



写真 2-2 Task B



写真 2-3 Task C



写真 2-4 Task D

2.2.2 実験結果

温熱環境評価は暴露時間にも依存すると考えられが、被験者実験の結果より、ある経過時間から温熱感覚は一定値を示すことから、本研究では、各実験ケースの主観申告値の代表値として、最も長い暴露時間である45分経過時のものを用いることとした。男性と女性の実験結果（屋内のみ）を統合して、全被験者平均をとり、最も適用可能性があり実用性も備えている温熱指標の抽出を行った。図2-2は、全被験者平均による温冷感と温熱指標値との関係を示す。各温熱環境要因、4つの温熱要素（気温、平均放射温度、相対湿度、風速）と2つの人間側の要素

である代謝量、着衣量が、自己申告に与えるそれぞれの影響の度合いを調べた結果[重回帰分析、温熱環境要素の標準回帰係数で比較→重相関係数 0.883, 1%有意]、風速と気温の寄与が同程度に最も大きいことが得られた。また、検討した温熱指標はすべて、有意水準1%で有効であり、このうち、温冷感との相関性が最も良いのは新指標（WCI改良型）（1%で高度に有意）で、ついでTSI、WCIであったが、差は僅かであった。さらに、温熱心理反応の一つでもある熱的快適性と温冷感との関係について検討した結果、両者には非常によい相関（ほぼ1:1の関係）があった。

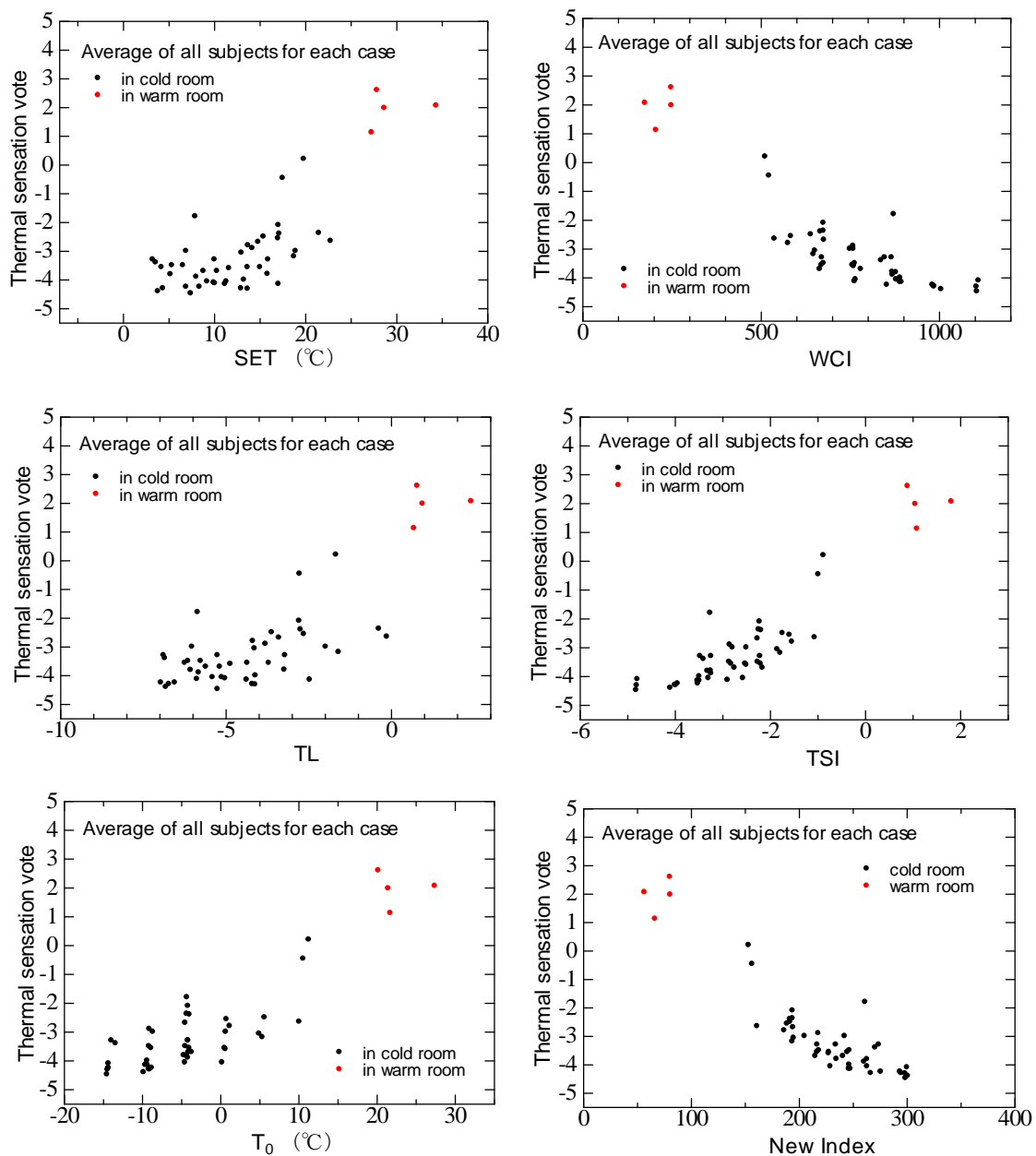


図2-2 全被験者平均をとった主観申告値と温冷感との関係

2. 3 温熱指標の有効性の検討

温熱指標の有効性については、平成 16・17 年度の検討結果⁹⁾も含め、屋内・屋外及び防風雪施設設置箇所の被験者実験結果を統合して分析した結果、既往温熱指標の中で温冷感自己申告値と相関性が特に良かった WCI 改良型、WCI、TSI については、図 2-3 に示すように、年度を問わず、両指標の有効性が確認できる結果となった。

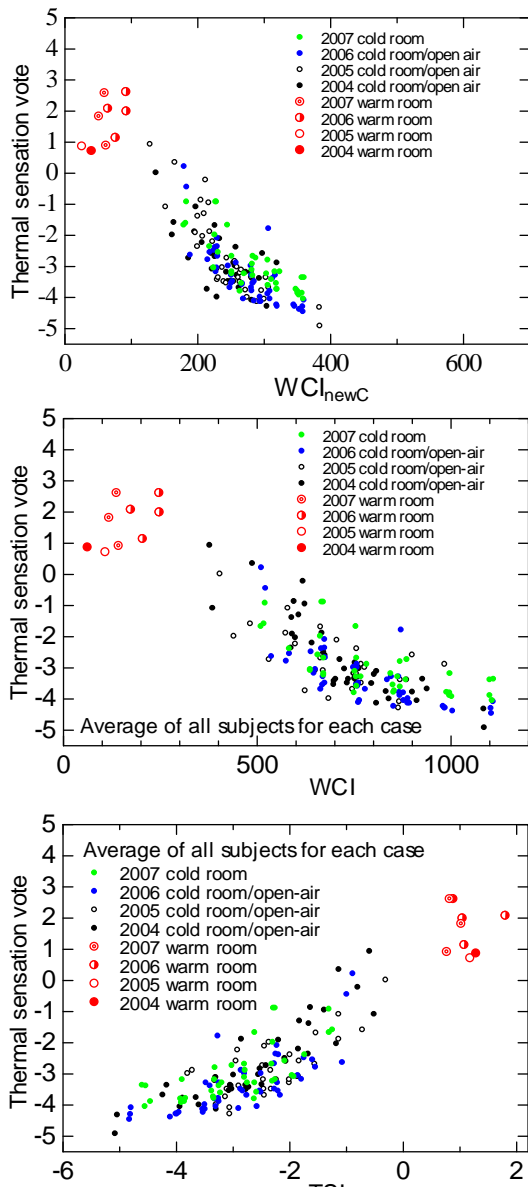


図 2-3 指標値と温冷感の比較例 (WCI 改良型、WCI、TSI)

ここで、現在、暫定的に冬期作業環境評価指標として用いられている WCI の評価指標としての有効性について述べる。WCI は、もとは凍傷予防のために提案されたが、幅広い範囲でその適用性が伺えた。被験者はすべて年度毎に異なっており、温熱指標値と温冷感との関係に年度による差はなく、実験を重

ねる毎にデータの信頼性が増した。また、各温熱環境要因、4 つの温熱要素 (気温、平均放射温度、相対湿度、風速) と 2 つの人間側の要素である代謝量、着衣量が、自己申告に与えるそれぞれの影響の度合いを調べた結果、風速と気温の寄与が同程度に最も大きく、この結果からも WCI が温冷感などの温熱心理反応を表す指標として十分有用性のあるものと推察された。

一方、新指標 (WCI 改良型) は、被験者の健康上の理由から着衣量を極端かつ段階的に変化させることにある限界があることから、他指標に比した有効性の確認と実用化にはまだ時間がかかる。さらに、同等レベルに相関性のよかった TSI については作用温度、従って、平均放射温度が含まれており、通常現場では入手しにくいのに比べ、WCI 算定に必要な入力値は気温と風速のみで、近隣の測候所やアメダスから十分入手可能である他、計算も極めて簡便である。

以上より、低温環境下での適応性を検討した既往の温熱評価指標の内、実用性も加味すれば、総合的には WCI が最も有効であると考えられる。

2. 4 作業環境改善効果の評価手法

表 2-3 に温冷感、図 2-4 に WCI と温冷感の関係を示す。図の縦軸は温冷感で横軸が WCI である。WCI が大きくなると温冷感が低くなり良い相関を見せている。このことから、WCI を推定することにより、温熱心理の変化を推定することが可能である。

表 2-3 温冷感(thermal sensation vote)

+3 暑い	-1 やや涼しい
+2 暖かい	-2 涼しい
+1 やや暖かい	-3 寒い
0 どちらとも言えない	-4 非常に寒い
	-5 寒くて耐えられない

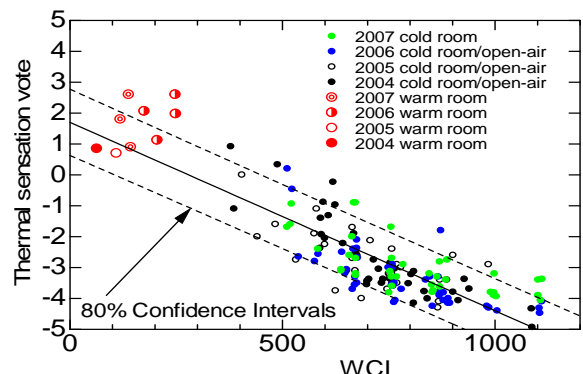


図 2-4 温熱指標 WCI と温冷感との関係

2. 5 作業効率改善効果の評価手法

2.5.1 寒さによる作業能力低下に関する基礎的検討

寒さによる作業能力低下を定量的に評価するために、作業能力 W (本実験では作業度数) は暴露時間とともに低下傾向を示し、温熱環境のみならず、暴露時間 t の長さにも大きく影響するものと考えた。そこで、作業能力を $W=a \exp(-bt)$ (a :初期値、 b :温熱指標等を用いた時間当たりの作業低減率に関するパラメータ) で表されると仮定し、温熱環境毎の a, b を推定した。その結果、作業能力を初期値 a で基準化でき、実用的観点からは、温熱環境、暴露時間に応じた無次元の作業低下率を推定できる可能性があることが分かった。図2-5にはWCIを例として、その指数形を当てはめた場合(最小2乗法により各パラメータを決定)の関数形を図中に示した。さらに、図2-5に示した曲線を利用して暴露時間をパラメータとした作業能力低下の試算を試みた。図2-6にその結果を示した。防風雪施設設置の判断が必要となる実用段階では、図中に示した $WCI=600\sim 900$ といった範囲の作業効率低下の程度が重要となるが、今回は作業能力低下試算の最初の段階として、 $WCI=1200\sim 1400$ 、作業継続時間4時間という現実的でないケースも含めて、WCI や作業継続時間を広い範囲で設定して試算した結果を示した。

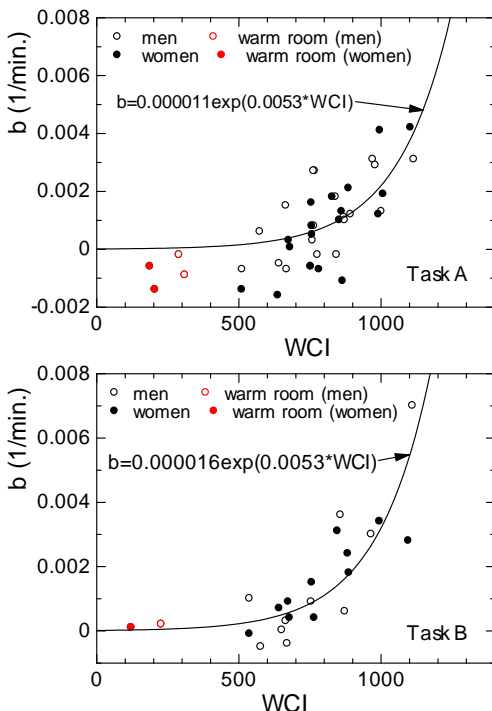


図2-5 温熱指標値と b の関係の最小自乗曲線(指数形)の推定

(温冷感が0になるときを $b=0$ と仮定した場合)

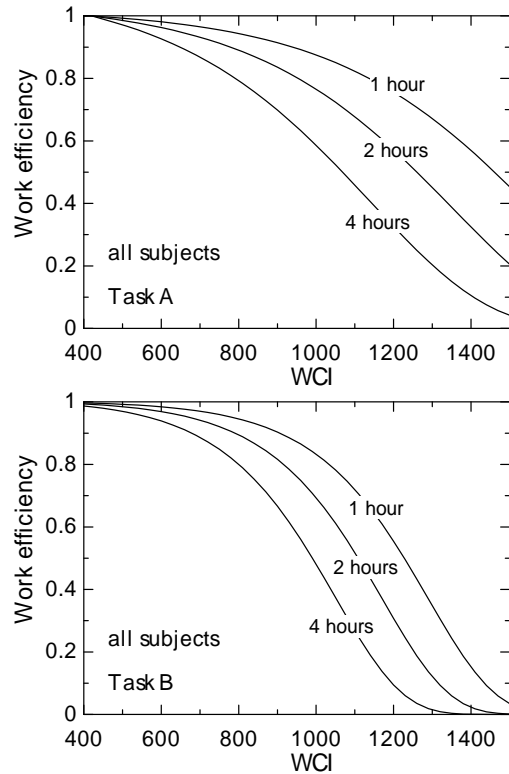


図2-6 作業能力低下の試算例 (Task A、Task B)

2.5.2 温熱指標と作業効率の関係

作業能力 W (本実験では作業度数) は暴露時間とともに低下傾向を示し、温熱環境のみならず、暴露時間 t の長さにも大きく影響するものと考えた。そこで、作業能力を $W=a \exp(-bt)$ [a :初期値、 b :時間当たりの作業低減率に関するパラメータ] で表されると仮定し、温熱環境毎の a, b を推定した。持続性を有する作業[Task D]を含め、 b は温冷感、各温熱指標ともよい相関性(1%有意)が見られ、寒くなれば、 b が増大傾向(作業能力は低下)であった一方、 a とは無相関であった(図2-7)。この場合、寒い環境であっても暴露直後であれば、 a はその環境にあまり依存せず、それらに対する依存性はないと見なす事ができた。さらに、温熱指標のうち、実用上有力であるWCIが b との相関性が最も高いことも都合のよい結果となり、 b は、WCIより推定可能であることが分かった。さらに a と b に男女差はみられなかった。

また、作業形態の違いが及ぼす影響を検討した。作業形態の違いにより b に有意な差が確認されたが、初期値の度数(単位時間当たり)とは無関係であった。これらのモデル作業のうち、Task Dである継続性を有する作業がもっとも作業効率の低下が大きい(図2-8)。Task A~Cは、数十秒といったごく短い時間における作業能力、瞬発性の検査に近いもの

であるので、現実には間欠的に作業を行う場合と考えるべきある（休止を頻繁に挟む場合）。実際に問題となると考えられる WCI がおよそ 900 程度までであれば、A～C に大きな違いはないと考えられた。実際の漁港では、魚の箱詰めや網外しなどといった持続性を有する作業が多くを占めると考えられるので、現段階では Task D を参照しておくのが最も適切であると考えられる。最後にいくつかの作業形態（Task A～D）における WCI による暴露時間をパラメータとした作業性低下の試算例を示した（図 2-9）。

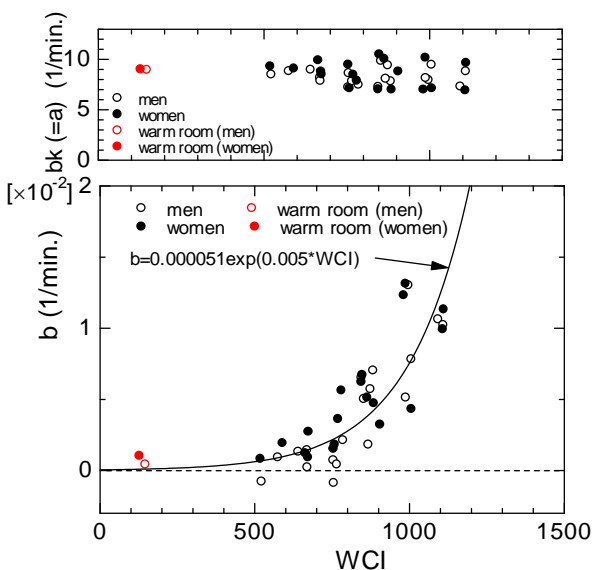


図 2-7 継続作業(Task D)における作業能力 W のパラメータ $[bk(=a), b]$ と温熱指標、温熱心理との関係例 [上図が $bk(=a)$ 、下図が b]

$$\frac{dW_c}{dt} = W = bk \exp(-bt)$$

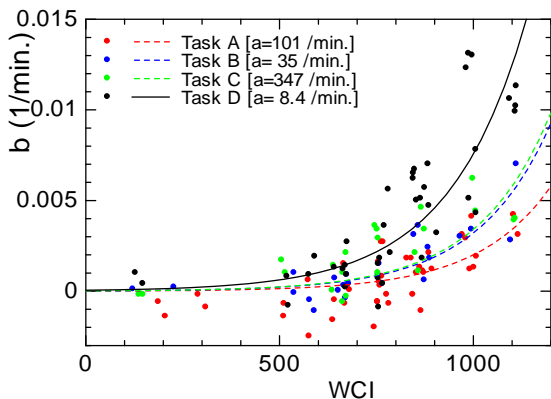


図 2-8 作業の違いによる作業性能の比較
(タッピング試験 (H17 年度実施)、Task A、B)

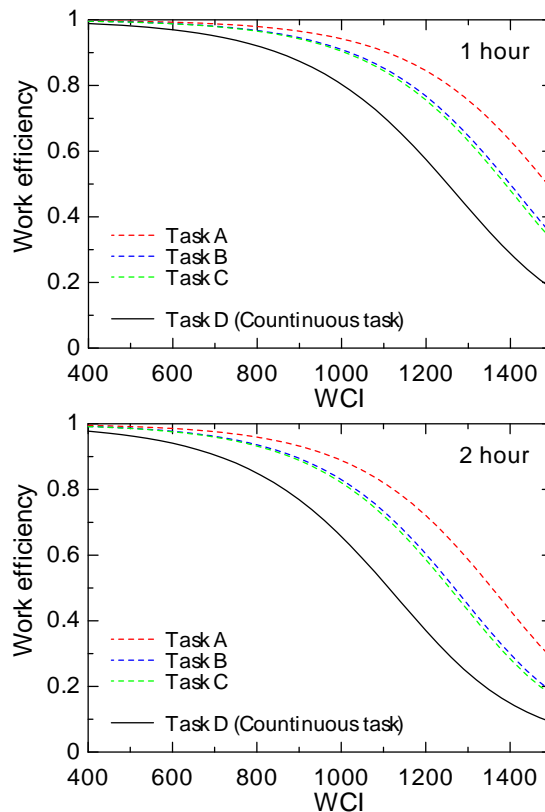


図 2-9 いくつかの作業形態における温熱指標 WCI による暴露時間をパラメータとした作業性低下の試算例

2. 6 作業効率等の現地検証

2.6.1 網走港における現地検証実験

環境(寒さ)の変化による「温冷感などの温熱心理」及び「作業効率」の変化に関する被験者実験について、温熱環境を一定に制御できる低温室で主に実施してきたが、温熱環境が変化する屋外、特に実際に防風雪施設が設置されている港において被験者実験を実施し、低温室内での被験者実験の結果と比較し、その妥当性を検証した。

2.6.2 実施条件及び被験者実験方法

被験者実験を実施した場所は防風雪施設が設置されている網走港（図 2-10）とした。被験者は札幌市に在住している 30 代～50 代の男性 4 名である。

作業能力に関する被験者実験は実際の網外し作業に近い紐結び（写真 2-5）で行うこととした。実験は被験者を 60 分間暴露状態に置いた条件下で実施し、その時の温冷感を温熱感覚の主観申告表（図 2-11）に記入した。被験者の休憩時間は過年度と同じく 90 分とした。



図 2-10 網走港実験箇所



写真 2-5 検証実験状況

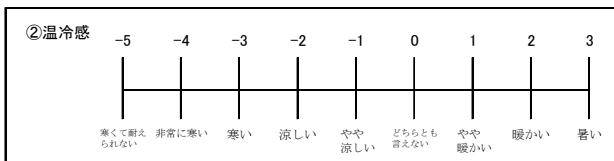


図 2-11 温熱感覚の主観的申告表

実施期間は3日間で、初日は13時から16時30分の間で2回、2日目は8時から16時30分の間で4回、3日目は8時から11時30分の間で2回の計8回とした。

この時の気象条件及びWCIを表2-4に示す。

表 2-4 気象条件

回	実施場所	平均風速 v (m/s)	風向	平均気温 (°C)	WCI
1回目	施設内	0.08	SE	1.70	414.8
2回目	施設内	0.55	WNW	-1.78	602.2
3回目	施設外	2.08	SW	1.42	720.0
4回目	施設外	3.90	NW	3.50	775.8
5回目	施設外	1.95	NE	3.75	657.1
6回目	施設外	0.55	E	1.91	538.4
7回目	施設外	0.23	SE	1.47	474.4
8回目	施設外	2.97	WNW	-1.22	845.6

2.6.3 検証結果

現地調査で得られた結果を温熱指標 WCI と温冷感の関係(図 2-12)及び作業能力 W のパラメータ [b] と温熱指標 WCI の関係(図 2-13)に示して、昨年度までの低温室での実験結果をプロットした。図 2-13 の縦軸で表す b は温熱環境に依存し、実用的には温熱指標の関数と仮定できるものである。

現地での被験者実験の結果は低温室内での実験結果と同一の傾向を示している。現地の被験者実験の結果は、主に低温室内での被験者実験に基づき提案してきた評価手法の妥当性を示す結果となった。

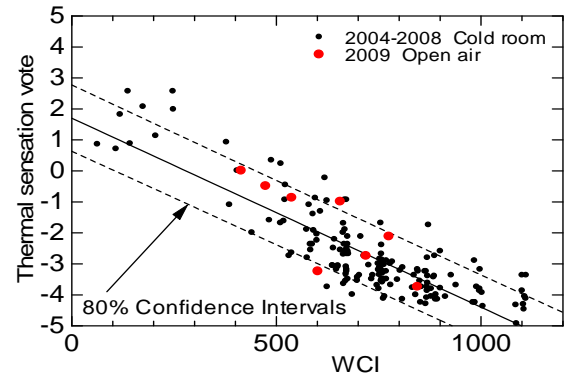


図 2-12 温熱指標 WCI と温冷感との関係(現地実験)

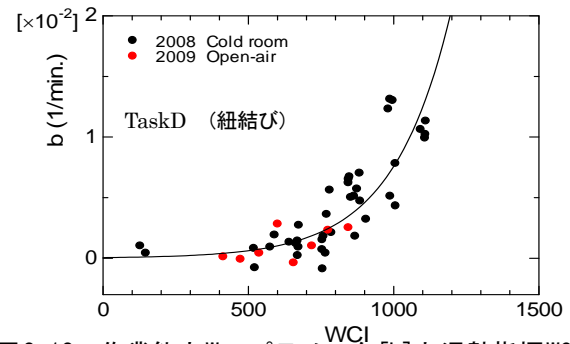


図 2-13 作業能力 W のパラメータ [b] と温熱指標 WCI との関係

3. 港内防風雪施設評価マニュアルの作成

3.1 データ収集と整理

データの収集と整理を行うにあたり、対象とした既往防風雪施設の一覧を、図 3-1 に示す。データの収集と整理分析については、防風雪施設の計画から設計に至る一連の作業を図 3-2 のように考えて、各項目毎に整理を行った。その概要を、表 3-1 に示した。この内、設計事例については、設計条件等に関わるデータが整備されている、最近の防風雪施設の整備事例 5 ケースについて作成した。実際に、現場技術者が防風雪施設の計画・設計を行う際に、どのような観点に留意して作業を進めればよいか把握しやすいように、設計事例を作成した。

表 3-1 既往防風雪施設を対象とした構造や利便性に関するデータ整理結果の概要

条件	項目	漁港名
設計条件	1)積雪荷重、2)風圧力、3)地震力、4)材料、5)潮位	大津漁港、福島漁港、遠別漁港、増毛港、紋別港(5港)
利用条件	施設間隔、施設の奥行き、施設高さ、エプロンの必要幅、必要延長、柱の配置など	1)古平漁港、2)元稲府漁港、3)能取漁港(能取地区)、4)力昼漁港、5)増毛港(5港)
構造条件	1)既設岸壁の改良～既設構造に影響を与えない独立方式(鋼管杭方式)を採用	古平漁港、元地漁港
	2)支柱は鉄筋構造となっており、作業スペース及び作業車の幅を考慮して張出し屋根構造としている	追直漁港
	3)基礎地盤(岩盤)は凝灰角礫岩のため、杭を岩盤に貫入させ地中梁で連結する設計とした(既設岸壁への荷重影響を軽減するため、杭式以外は困難)。	元地漁港
	4)全体重量が軽く基礎への影響が小さい鉄骨造(ラーメン構造)とし、基礎は摩擦杭による形式とした。	能取漁港(能取地区、卯原内地区)
	5)吸い出し防止対策が必要であったことから、深層混合処置+直接基礎方式を採用した(CDM工法+フーチング基礎)	船泊港
	6)柱の本数は利用形態及び建設コストに配慮し、法線直角方向に対して1本とする。	函館漁港
利便性	1)雪の吹き込み防止～後壁開口部にシャッターを設置	元稲府漁港、古平漁港、大津漁港他
	2)冬期間の風の吹き込みを考慮して開口部にはシート取り付け用フックを設置	須古頓漁港、東上泊漁港、内路漁港他
	3)後壁における視界の確保～窓の設置	古平漁港、大津漁港、追直漁港他
	4)夜中・早朝の作業～照明の設置	追直漁港、能取漁港、大津漁港他
	5)ホタテ稚貝作業の際に地元漁業者が設置する散水用シャワー、遮光カーテン等を固定しやすいように、梁や庇部分に金具、フック等の細工を行った。	能取漁港(能取地区、卯原内地区)
	6)直轄及び漁組で屋根をかける際に、漁組のほうで屋根をラップする工夫をして、雨が当たらないようにした。	熊石漁港
	7)走行帯の上屋の高さは、一般道路の建築限界である4.5mとした。	常呂漁港
	8)屋根の上で海を眺めたり、釣りをすることが可能な「親水」機能をもたせた。	臼尻漁港、宗谷港
	9)高波警報装置(くじらくん)を設置した。	宗谷港
維持管理	1)無落雪構造の採用	古平漁港、香深井漁港他
	2)鳥害対策のためのピアノ線設置	追直漁港、古平漁港他
	3)照明の点滅区分を設け、節電を行えるようにした。	熊石漁港
	4)耐候性、風圧、波圧の考慮、視界確保のための半透明な素材の採用	追直漁港、増毛港他
	5)管理費軽減のため電気代の安い、高圧ナトリウム灯を選定し、防虫型とした	熊石漁港
	6)水中ポンプや自動選別機が稼働できるようユニット毎にコンセントを配置した。	東上泊漁港、香深井漁港他

表 3-2 マニュアルの構成

1. はじめに
 - 1-1 本マニュアルの目的
 - 1-2 対象施設
 - 1-3 用語の定義
2. 港内防風雪施設の機能
 - 2-1 港内防風雪施設の機能
3. 港内防風雪施設の設計
 - 3-1 基本的な考え方と検討フロー
 - 3-2 調査
 - 3-3 計画
 - 3-4 設計
4. 港内防風雪施設の整備効果
 - 4-1 港内防風雪施設の整備効果の考え方
 - 4-2 港内防風雪施設の便益額算定手法
 - 4-3 新たな評価手法の提案
5. 設計事例

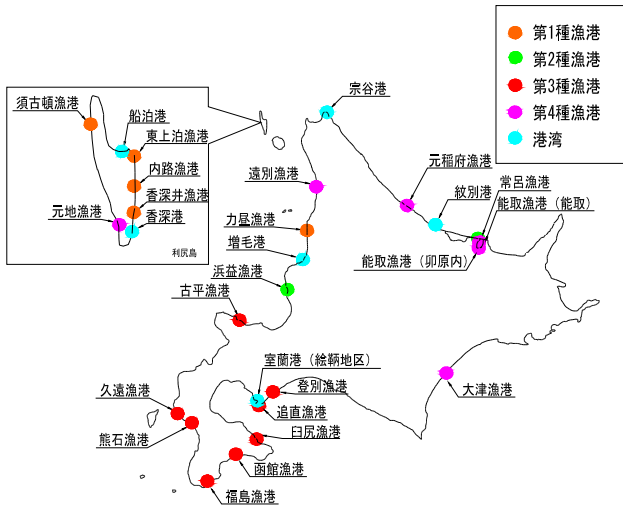


図 3-1 対象施設一覧

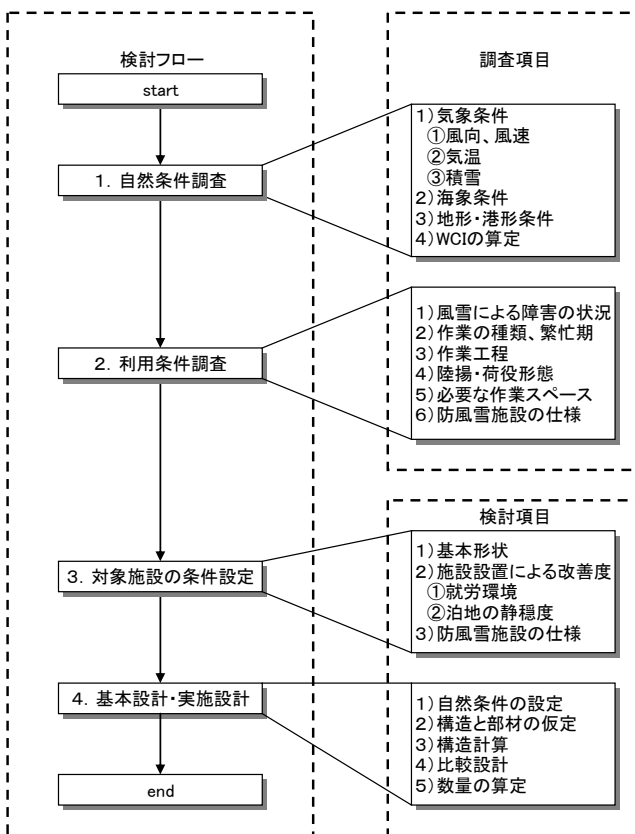


図 3-2 施設の計画・設計に関わる全体フロー

3. 2 港内防風雪施設評価マニュアル

3.2.1 マニュアルの作成

これまでの研究成果を取りまとめ、港内防風雪施設設計評価マニュアルを作成した。マニュアルの構成は表 3-2 のとおりである。以下に、マニュアルの内容を要約する。

3.2.2 マニュアルの目的

港湾及び漁港に設置する港内防風雪施設の調査・計画・設計・評価において、実務担当者の作業の円滑化を目的とする。

3.2.3 港内防風雪施設の機能

港内防風雪施設は、屋根と壁を組み合わせることにより、風の流れに対して障害物としての役割を果たし、風向を変化させて施設背後に弱風域を形成させ(図 3-3)、風によって起きる各種障害の解消もしくは軽減を図るものである。さらに、施設の屋根下の積雪や作業者に吹き付ける風雪についても、解消もしくは軽減を図るものである。

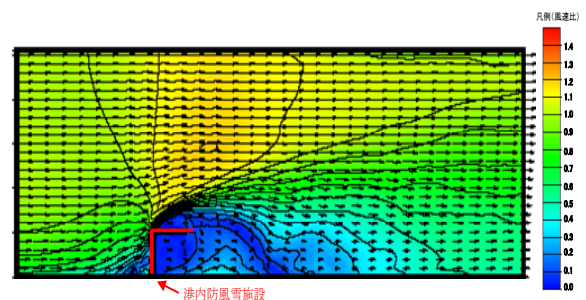


図 3-3 港内防風雪施設周辺の風速比分布の例

3.2.4 港内防風雪施設の設計

港内防風雪施設の設計は、港の気象条件を把握し、現在及び将来の施設利用のあり方等を勘案のうえ、必要な防風効果が得られるように施設を計画し、適切な構造計算を行う(図 3-4 参照)。

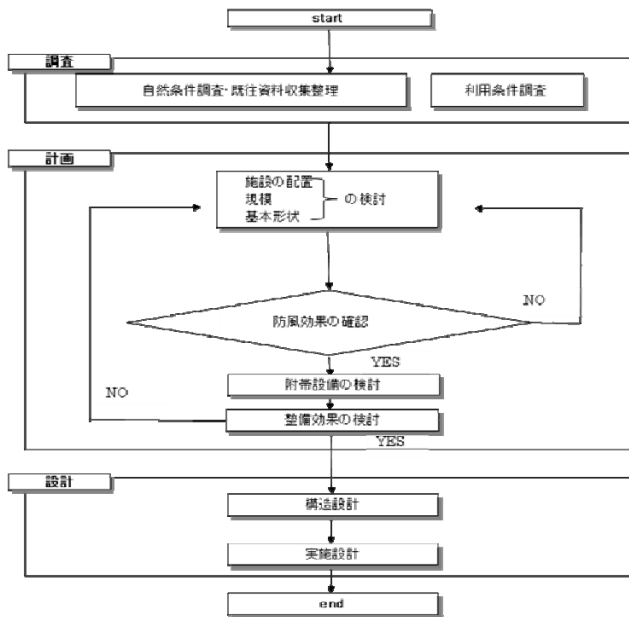


図 3-4 港内防風雪施設設計フローチャート

(1) 調査

1) 自然条件調査

防風雪施設設置予定位置の風況を明らかにするために、風況実測調査を行う。

2) 既往資料収集

港の最寄りの気象官署の風況資料を収集整理し、港の長期的な風況特性を明らかにする。また、風況の他、必要に応じて気温や降水量、降雪等についても収集整理を行う。

3) 利用条件調査

防風雪施設を計画する基礎資料とするために、計画位置における作業条件、風雪による被害・障害状況、施設に対する要望等を把握する。

(2) 計画

1) 港内防風雪施設の配置・規模・形状の検討

港内防風雪施設は、エプロン上において、風雪を軽減すると同時に、防風壁及び柱により作業車や車両の導線を遮断し、屋根により高さ方向の制限が加わる。このため、利用条件が加味されなかつ防風効果を得られる配置・規模・基本形状を計画する。

2) 防風効果の確認

防風効果の確認は、風況シミュレーションを用いる。防風効果から施設整備後の風速を求め、施設整備前と整備後の温熱指標値 (WCI) を算出する。

しかしながら、防風効果の簡易予測手法¹⁰⁾が提案されているため、平均風速比簡易予測図集と施設条件が類似している場合には、風況シミュレーションをせず、同手法での推定が可能となっている。

3) 付帯設備の検討

港内防風雪施設の利便性・安全性の向上を図るための付帯設備の検討を行う。

(3) 設計

防風雪施設は、建築基準等に準拠し構造物の設計を行う。構造設計としては、上屋の設計と基礎の設計がある。

3.2.5 港内防風雪施設の整備効果

(1) 整備効果の考え方と便益額算定手法

港内防風雪施設の整備効果は、各関係機関が発行している資料等を用いて適切に評価するものであり、便益額算定可能な項目は各事業の評価に関する解説書又はガイドライン等に基づいた算定手法により、適切に算定するものである。

港湾³⁾での港内防風雪施設の整備効果としては、作業効率の向上による業務コストの削減、商品価値低下の回避に寄与できると考えられる。ただし、商品価値低下については、荷役時間の増加などの業務の非効率によって明らかに鮮度が低下し、漁価が下がる場合のみ計上する。一方、漁港⁴⁾においては、水産物生産コストの削減効果、漁獲物付加価値化の効果、漁業就業者の労働環境改善の効果に寄与できると考えられている。

(2) 新たな評価手法の提案

これまでの本研究の成果から港内防風雪施設の整備効果に対する定量的な評価手法を提案した。

1) 就労環境改善の推定方法

図 3-5 は、温熱指標値 (WCI) と温冷感との関係であり、図の縦軸は表 3-3 の温冷感である。図をみると、WCI の値が大きくなると温冷感は感覚的に厳しいものとなっていく。このように、WCI と温冷感の良い対応をみせており、寒冷環境下において、風速や気温から温熱心理を概略に推定することが可能である。

2) 作業効率の推定方法

図 3-6 は温熱指標値 (WCI) と作業効率との関係であり、図の縦軸は作業効率を示している。図はいくつかの作業形態における WCI と作業性低下を試算したもので、1 時間継続して作業を行った場合である。TaskA はペグボート試験、TaskB は針金通し、TaskC はタッピング試験、TaskD は紐結び作業の実験結果に基づいたものである。温暖な条件の作業効率を 1 とした場合、厳しい条件になるにつれて、作業効率が低下していくことを示している。

作業効率の推定においては、実際の港内防風雪施設内で行われている作業の種類と作業継続時間を考慮して、適切な図表及び曲線を用いる必要がある。

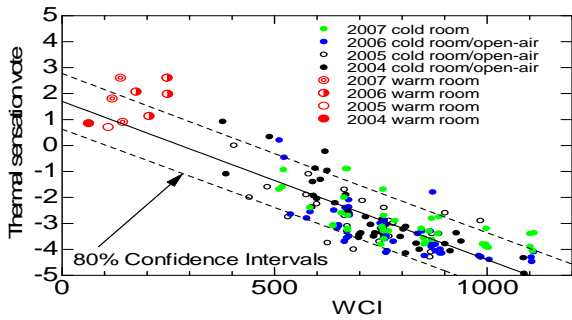


図 3-5 温熱指標 WCI と温冷感との関係
表 3-3 温冷感 (thermal sensation vote)

+3 暑い	-1 やや涼しい
+2 暖かい	-2 涼しい
+1 やや暖かい	-3 寒い
0 どちらとも言えない	-4 非常に寒い
	-5 寒くて耐えられない

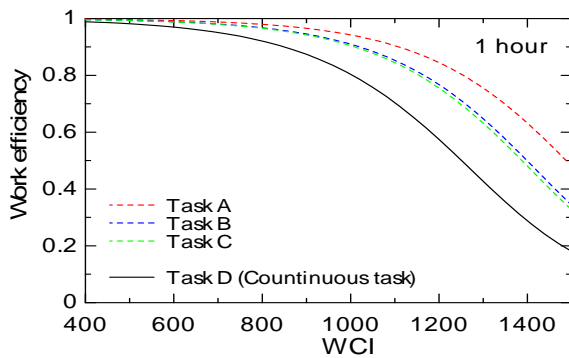


図 3-6 いくつかの作業形態における WCI と作業効率の関係 (暴露時間が 1 時間の場合)

3) 防風効果・便益算定事例

マニュアルには、これらの研究成果を用いた防風効果及び便益算定についての計算例を掲載している。なお、気象条件及び施設規模については想定値としている。

①気象条件の設定

風速及び気温については、現地に適したものをを用いる。ここでは、平均風速と平均気温を用いて、以下のように想定する。

風向：最多頻度の NNW

風向 NNW は、港内防風雪施設法線の垂線に対し、 21.1° で吹く風である。

風速：冬期間の平均風速 5m/s 、測定高さ $+2.0$

気温：冬季の平均気温 -2°C

②施設の断面図・平面図の設定

断面図を図 3-7 に、平面図を図 3-8 に示す。

延長： 100m 、屋根高さ： 4.5m 、奥行き： 8m

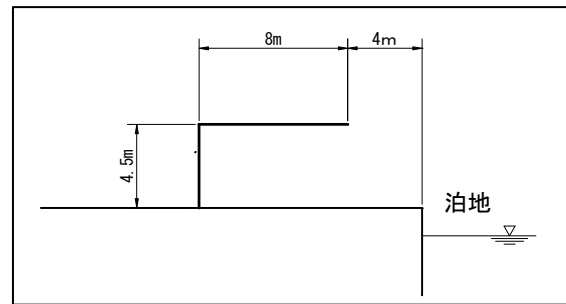


図 3-7 港内防風雪施設断面



図 3-8 港内防風雪施設配置図

③風速の変換

平均風速簡易予測図集¹⁰⁾の風速比は、高さ $Z=25\text{m}$ を基準高さとしている。現地での風向風速計の高さは 2m であるので、風速値を高さ $Z_R=2\text{m}$ の値に換算する。 n の値は、地形が草原に近いものと考え、 $n=7$ とする¹¹⁾。以下の計算から、高さ $Z_R=2\text{m}$ における風速 5m/s は、高さ $Z=25\text{m}$ において 7.2m/s となる。

$$\begin{aligned} U(z) &= U_R (Z/Z_R)^{1/n} \\ &= 5 \times (25/2)^{1/7} \\ &= 5 \times 1.43 \\ &= 7.2\text{m/s} \end{aligned}$$

ここに、 Z ：地上からの基準高さ (m)、

Z_R ：地上からの高さ (m)、

$U(z)$ ：高度 $Z\text{m}$ の風速 (m/s)、

U_R ：高さ Z_R 地点の風速 (m/s)、

n ：分布の形状を表す係数

n の値は以下の通りである¹¹⁾。

平野・草原	$n=7$
森林、高い建物のない市街地、住宅地	$n=5$
大都市の郊外周辺、市街地	$n=4$
大都市の中心付近	$n=3$

④施設内風速比の簡易判定

平均風速比簡易予測図集¹⁰⁾の検討ケースの中から、想定した港内防風雪施設の形状と風速が最も近いケースを選定する。本事例では、延長 $L=100\text{m}$ 、

奥行き B=10m、施設高さ h1=5m、風速 10m/s の図表を選定する。風向は、近い風向の計算結果を適用するか、2 風向の計算結果を内挿して、港内防風雪施設設置後の概略的な風速比を求める。表 3-4 0°

(CASE28)、45° (CASE29) に示す風速比を内挿すると、表 3-5 左表の結果になる。そして、風向が簡易図と逆方向から作用していることから風速比の左右を反転させると、想定した港内防風雪施設内の概略的な風速比である表 3-5 右表が得られる。

⑤WCI の算定

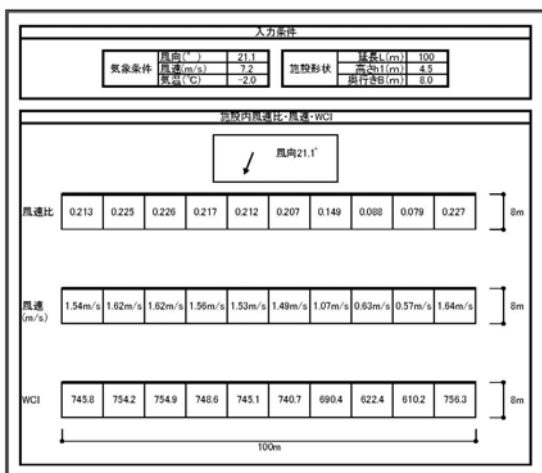
現況と港内防風雪施設設置後の WCI を求める。

$$WCI = (10.45 + 10\sqrt{V} - V)(33 - ta)$$

ここに、*ta*: 気温 (°C) *V*: 風速 (m/s) である。

現況については、風速 5.0m/s、気温 -2°C より、WCI=973 である。次に港内防風雪施設内の風速と WCI は、表 3-5 右表の風速比より、表 3-6 の通りである。

表 3-6 風速比計算結果



⑥就労環境改善効果の推定

評価については、温冷感の差が最も小さくなる港内防風雪施設内の WCI (表 3-6) の最大値を使用することとした。WCI が現況 973→施設設置後 756 となるので、温冷感 (表 3-7) は図 3-9 より現況: 非常に寒い→施設設置後: 寒いとなるため、就労環境が改善されると推定される。

表 3-7 温冷感

+3 暑い	-1 やや涼しい
+2 暖かい	-2 涼しい
+1 やや暖かい	-3 寒い
0 どちらとも言えない	-4 非常に寒い
	-5 寒くて耐えられない

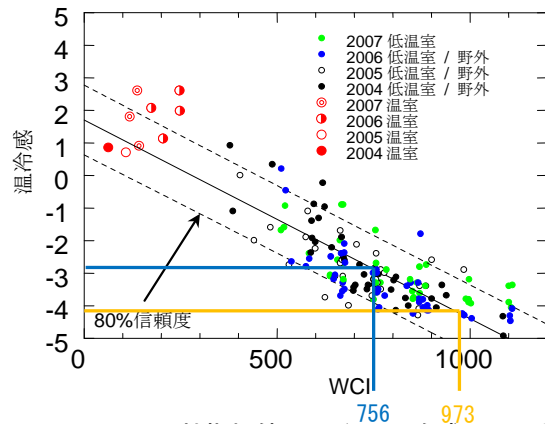


図 3-9 温熱指標値 (WCI) と温冷感との関係

⑦作業効率の推定

本計算例においては、1 時間毎に休憩を取る作業と仮定し、温熱指標 (WCI) と作業効率との関係を図 4.3.6 に示す。作業効率の推定には、持続的作業の TaskD の曲線を使用する。図 3-10 より、WCI が現況 973→施設設置後 756 となるので、作業効率は図 4.3.6 より現況 0.81→施設設置後 0.93 となる。0.93 ÷ 0.81 = 1.15 より、港内防風雪施設内では作業性が約 15% 上昇すると推定される。

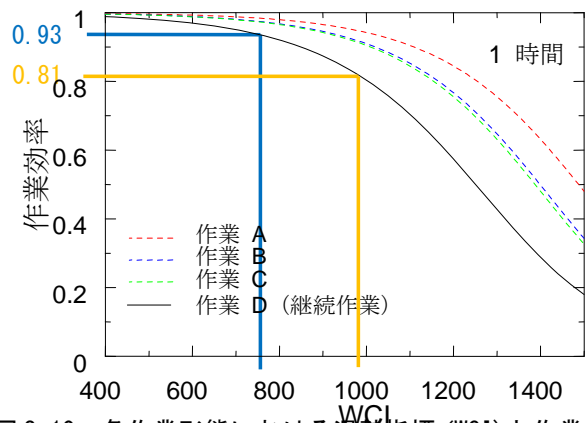


図 3-10 各作業形態における温熱指標 (WCI) と作業効率との関係

⑧便益の算定例

推定した作業効率から作業の短縮時間を算定する。施設整備前の作業時間が 6 時間と仮定した場合には、施設整備後は 6 時間 × (1 - 0.81/0.93) ÷ 0.8 時間程度の作業時間が短縮できると考えられる。

表 3-4 0° (CASE28) と 45° (CASE29) の風速比計算結果

CASE28 計算結果		CASE29 計算結果																																																																			
<p>入力条件</p> <table border="1"> <tr> <td>気象条件</td> <td>風向(°)</td> <td>45.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>風速(m/s)</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>気温(°C)</td> <td>0.0</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>施設形状</td> <td>延長L(m)</td> <td>100</td> <td>高さ2(m)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>高さ1(m)</td> <td>5</td> <td>b1(m)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>奥行きB(m)</td> <td>10</td> <td>b2(m)</td> <td>-</td> </tr> </table>		気象条件	風向(°)	45.0		風速(m/s)	10.0		気温(°C)	0.0	施設形状	延長L(m)	100	高さ2(m)	-		高さ1(m)	5	b1(m)	-		奥行きB(m)	10	b2(m)	-	<p>入力条件</p> <table border="1"> <tr> <td>気象条件</td> <td>風向(°)</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>風速(m/s)</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>気温(°C)</td> <td>0.0</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>施設形状</td> <td>延長L(m)</td> <td>100</td> <td>高さ2(m)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>高さ1(m)</td> <td>5</td> <td>b1(m)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>奥行きB(m)</td> <td>10</td> <td>b2(m)</td> <td>-</td> </tr> </table>		気象条件	風向(°)	0.0		風速(m/s)	10.0		気温(°C)	0.0	施設形状	延長L(m)	100	高さ2(m)	-		高さ1(m)	5	b1(m)	-		奥行きB(m)	10	b2(m)	-																		
気象条件	風向(°)	45.0																																																																			
	風速(m/s)	10.0																																																																			
	気温(°C)	0.0																																																																			
施設形状	延長L(m)	100	高さ2(m)	-																																																																	
	高さ1(m)	5	b1(m)	-																																																																	
	奥行きB(m)	10	b2(m)	-																																																																	
気象条件	風向(°)	0.0																																																																			
	風速(m/s)	10.0																																																																			
	気温(°C)	0.0																																																																			
施設形状	延長L(m)	100	高さ2(m)	-																																																																	
	高さ1(m)	5	b1(m)	-																																																																	
	奥行きB(m)	10	b2(m)	-																																																																	
<p>施設内風速比・風速・WCI</p> <p>風向0.0°</p> <table border="1"> <tr> <td>風速比</td> <td>0.113</td> <td>0.135</td> <td>0.094</td> <td>0.042</td> <td>0.051</td> <td>0.055</td> <td>0.058</td> <td>0.083</td> <td>0.123</td> <td>0.132</td> </tr> <tr> <td>風速 (m/s)</td> <td>1.1m/s</td> <td>1.4m/s</td> <td>0.9m/s</td> <td>0.4m/s</td> <td>0.5m/s</td> <td>0.6m/s</td> <td>0.6m/s</td> <td>0.6m/s</td> <td>0.9m/s</td> <td>1.2m/s</td> </tr> <tr> <td>WCI</td> <td>658.4</td> <td>663.7</td> <td>633.8</td> <td>544.9</td> <td>563.7</td> <td>571.4</td> <td>577.0</td> <td>632.4</td> <td>670.2</td> <td>680.4</td> </tr> </table> <p>100m</p>		風速比	0.113	0.135	0.094	0.042	0.051	0.055	0.058	0.083	0.123	0.132	風速 (m/s)	1.1m/s	1.4m/s	0.9m/s	0.4m/s	0.5m/s	0.6m/s	0.6m/s	0.6m/s	0.9m/s	1.2m/s	WCI	658.4	663.7	633.8	544.9	563.7	571.4	577.0	632.4	670.2	680.4	<p>施設内風速比・風速・WCI</p> <p>風向45.0°</p> <table border="1"> <tr> <td>風速比</td> <td>0.372</td> <td>0.034</td> <td>0.094</td> <td>0.275</td> <td>0.390</td> <td>0.398</td> <td>0.405</td> <td>0.388</td> <td>0.356</td> <td>0.323</td> </tr> <tr> <td>風速 (m/s)</td> <td>3.7m/s</td> <td>0.3m/s</td> <td>0.9m/s</td> <td>2.8m/s</td> <td>3.9m/s</td> <td>4.0m/s</td> <td>4.1m/s</td> <td>3.9m/s</td> <td>3.6m/s</td> <td>3.2m/s</td> </tr> <tr> <td>WCI</td> <td>858.6</td> <td>526.1</td> <td>633.8</td> <td>801.3</td> <td>867.8</td> <td>871.9</td> <td>875.3</td> <td>866.8</td> <td>850.0</td> <td>831.3</td> </tr> </table> <p>100m</p>		風速比	0.372	0.034	0.094	0.275	0.390	0.398	0.405	0.388	0.356	0.323	風速 (m/s)	3.7m/s	0.3m/s	0.9m/s	2.8m/s	3.9m/s	4.0m/s	4.1m/s	3.9m/s	3.6m/s	3.2m/s	WCI	858.6	526.1	633.8	801.3	867.8	871.9	875.3	866.8	850.0	831.3
風速比	0.113	0.135	0.094	0.042	0.051	0.055	0.058	0.083	0.123	0.132																																																											
風速 (m/s)	1.1m/s	1.4m/s	0.9m/s	0.4m/s	0.5m/s	0.6m/s	0.6m/s	0.6m/s	0.9m/s	1.2m/s																																																											
WCI	658.4	663.7	633.8	544.9	563.7	571.4	577.0	632.4	670.2	680.4																																																											
風速比	0.372	0.034	0.094	0.275	0.390	0.398	0.405	0.388	0.356	0.323																																																											
風速 (m/s)	3.7m/s	0.3m/s	0.9m/s	2.8m/s	3.9m/s	4.0m/s	4.1m/s	3.9m/s	3.6m/s	3.2m/s																																																											
WCI	858.6	526.1	633.8	801.3	867.8	871.9	875.3	866.8	850.0	831.3																																																											
<p>上記0°と45°の風速比の平均値</p> <table border="1"> <tr> <td>風速比</td> <td>0.227</td> <td>0.079</td> <td>0.088</td> <td>0.149</td> <td>0.207</td> <td>0.212</td> <td>0.217</td> <td>0.226</td> <td>0.225</td> <td>0.213</td> </tr> </table> <p>左右反証</p>		風速比	0.227	0.079	0.088	0.149	0.207	0.212	0.217	0.226	0.225	0.213	<p>上記0°と45°の風速比の平均値</p> <table border="1"> <tr> <td>風速比</td> <td>0.213</td> <td>0.225</td> <td>0.226</td> <td>0.217</td> <td>0.212</td> <td>0.207</td> <td>0.149</td> <td>0.088</td> <td>0.079</td> <td>0.227</td> </tr> </table> <p>平均値 0.184</p>		風速比	0.213	0.225	0.226	0.217	0.212	0.207	0.149	0.088	0.079	0.227																																												
風速比	0.227	0.079	0.088	0.149	0.207	0.212	0.217	0.226	0.225	0.213																																																											
風速比	0.213	0.225	0.226	0.217	0.212	0.207	0.149	0.088	0.079	0.227																																																											

表 3-5 0° (CASE28) と 45° (CASE29) の風速比按分

4. 屋根付岸壁の漁獲物に対する衛生管理機能の評価法提案

防風雪施設のような屋根が整備されている構造物は水産物の鮮度・清潔保持に有効である。そこで、屋根の効果を定量的に評価するために水産物の鮮度・清潔保持に着目した。本研究では、屋根を整備することにより水産物の鮮度保持にどのような効果が得られるか検証することとした。

4.1 現地調査

現地調査は、図4-1に示す箇所において、平成20年度および平成21年度の2カ年実施した。



図4-1 現地調査位置図

4.1.1 羅臼漁港（平成20年度調査）

羅臼漁港において、サケを対象とした調査を実施した。調査箇所は、漁港内の屋根付岸壁の屋根の下（以下屋根下）と屋根の外（以下屋根外）において、魚体の鮮度・魚体温・菌の増殖等について調査した。

(1) 魚体温

羅臼漁港では利用水（深層水氷・深層水・殺菌水・泊地水）に浸した魚体と岸壁上に直置きした魚体の温度を経時的に計測した。

1) 深層水氷・深層水

深層水氷・深層水の魚体温は、屋根外が屋根下より高くなっており、深層水氷では5℃程度の差になり深層水では6℃程度の差になっている（図4-1）。

2) 殺菌水・泊地水・直置き

殺菌水・泊地水・直置きの魚体温は、屋根外が屋根下より高くなっており、殺菌水及び泊地水では5.5℃程度の差になり、直置きは10℃程度の差になっている（図4-2）。

屋根下と屋根外の外気温差は小さいが、深層水（氷）、深層水、殺菌水、泊地水、直置きの魚体温に差がでることから、魚体温は気温よりも日射の影響を受けると想定される。

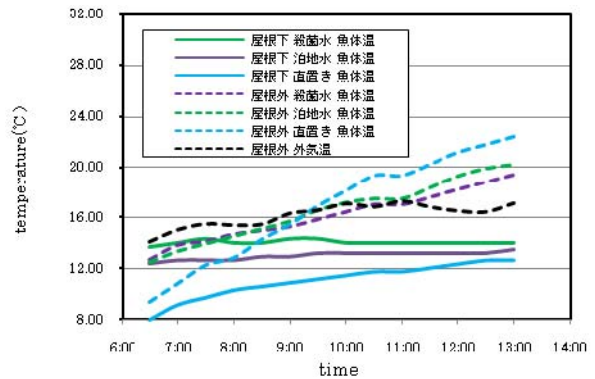


図4-2 殺菌水・泊地水・直置きの魚体の経時変化

(2) 魚体の鮮度

魚体の鮮度はK値^{※1}で表し、6時、9時、12時および55時間後に測定している（写真4-1）。

鮮度（K値）は屋根下と屋根外を比較すると、屋根下のほうが良い。また利用水に浸した魚体を調べると深層水氷が最も良く、次いで深層水→滅菌水→泊地水→直置きの順となっている。深層水氷の鮮度低下が低いことから、魚体温が低い状態では鮮度が良いと考えられる。また、深層水は初期鮮度が同じでも時間経過にともない鮮度に差が出てくるので深層水は鮮度保持に有効である。



写真4-1 K値測定状況

※1 K値

魚体の鮮度はK値を用いて表す。K値は、生鮮魚介類の鮮度判別の指標の1つであり、魚介類の死後、自己消化酵素によって自身のATPを分解していく。この分解の進行程度を数値化したものであり、K値が20%以下だと刺身での食が可能と言われている。

$$K = \frac{(HxR + Hx)}{(ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)} \times 100$$

ここで、ATP：アデノシン3リン酸、ADP：アデノシン2リン酸、AMP：アデノシン1リン酸、IMP：イノシン酸、HxR：イノシン、Hx：ヒポキサン。

本調査のK値は、現地で魚肉を浸した鮮度試験紙の色を換算表から読み取る方法で確認測定した。

(3) 利用水への混入菌

利用水中の一般細菌を6時、9時、12時に測定した。利用水への混入菌については、初期菌数の違いがあることから菌数ではなく菌の増殖率について着目をした。菌の初期菌数の違いは、ポリ容器の付着菌や魚体の表面から流出した菌などの違いが原因と想定される。また、泊地水については海水に含まれている菌が多いため、初期菌数が多いと想定される。

屋根下の菌の増殖率は、それぞれ深層水が約2倍、殺菌水が4倍、泊地水が6倍であった。

屋根下と屋根外の菌の増殖率を比較すると、深層水では2倍→4倍、殺菌水では4倍→61倍、泊地水では6倍→8倍と屋根下の菌の増殖率が小さくなっている。

このことから、深層水は菌の増殖の抑制する効果があり、さらに、屋根下であればその効果がより得られる。

4.1.2 室蘭港と久遠漁港（平成21年度調査）

室蘭港と久遠漁港の屋根付き岸壁において、クロソイを対象にした調査を実施した。調査項目は、平成20年度に測定した気温と魚体温のほか、日射量の測定を追加した。また、魚体の鮮度の測定において、鮮度試験紙によるK値10%以下の判定が困難であったため、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に変更した。さらに、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、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、本年度は低温細菌を対象に測定した。

(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（写真4-2、写真4-3）。

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。



写真4-2 室蘭港 屋根付き岸壁



写真4-3 久遠漁港 屋根付き岸壁

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4-1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4-3に微生物の発育温度域を示す。

表4-1 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
清潔保持	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

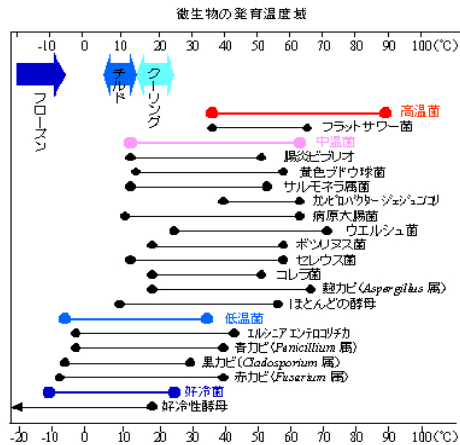


図 4-3 微生物の発育温度域⁶⁾

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。

①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まで連続で測定した。

②魚体温

魚体温の測定は、魚体をプラスチックパレット上に置き、魚体内に温度計を挿入し、9:30～14:00まで、屋根下と屋根外で測定し、その後も消費地まで連続で測定した（写真4-4）。



写真4-4 魚体温の測定

③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まで連続で測定した。

④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°Cで保管したものである。

⑤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。

⑥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°C～20°Cで培養したものを計測する。

(2) 調査結果

①気温の経時変化

図4-4、図4-5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°C以下で推移している。

②魚体温と日射量の経時変化

図4-6、図4-7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。このように、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。

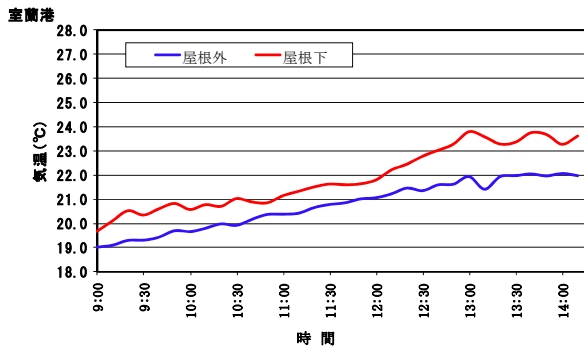


図4-4 室蘭港の気温の経時変化

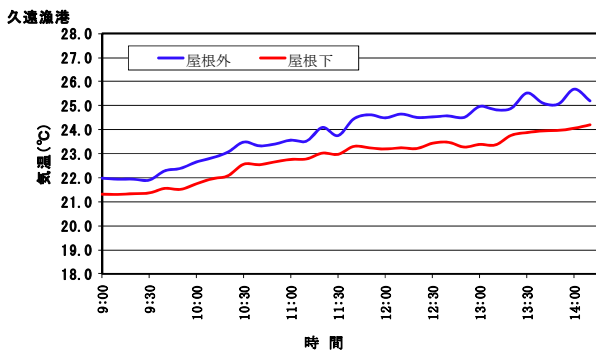


図4-5 久遠漁港の気温の経時変化

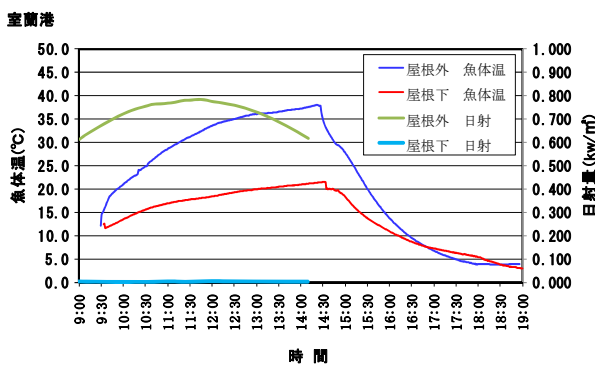


図4-6 室蘭港の魚体温と日射量の経時変化

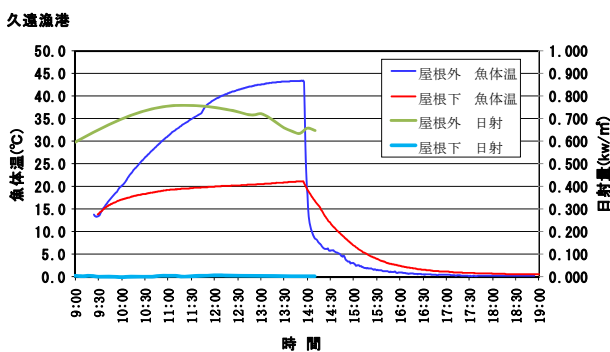


図4-7 久遠漁港の魚体温と日射量の経時変化

③魚体の鮮度と雨水の影響による鮮度

図4-8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。

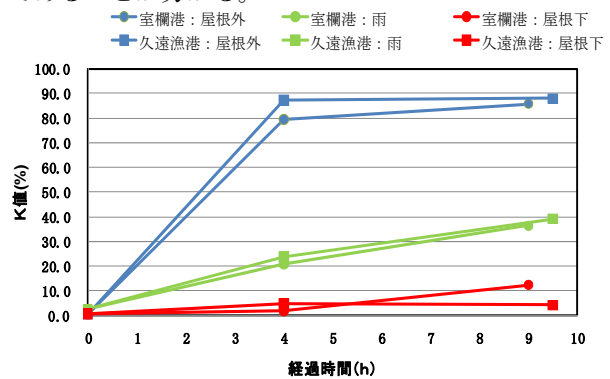


図4-8 室蘭港・久遠漁港のK値の経時変化

④魚体の体表菌

図4-9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。

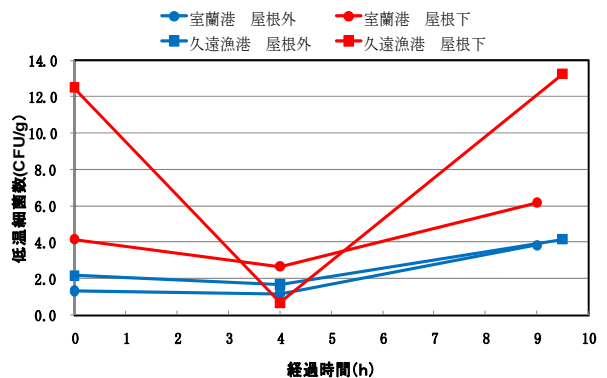


図4-9 室蘭港・久遠漁港の魚体の体表菌

4. 2 陸揚げ～出荷・流通の過程を想定した実験

4.2.1 平成21年度に実施した実験

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。

(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4-2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4-2 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

室内実験での室内温度及びK値の測定時間は、図4-10のフローに示す。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。

①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。

②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。

③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。

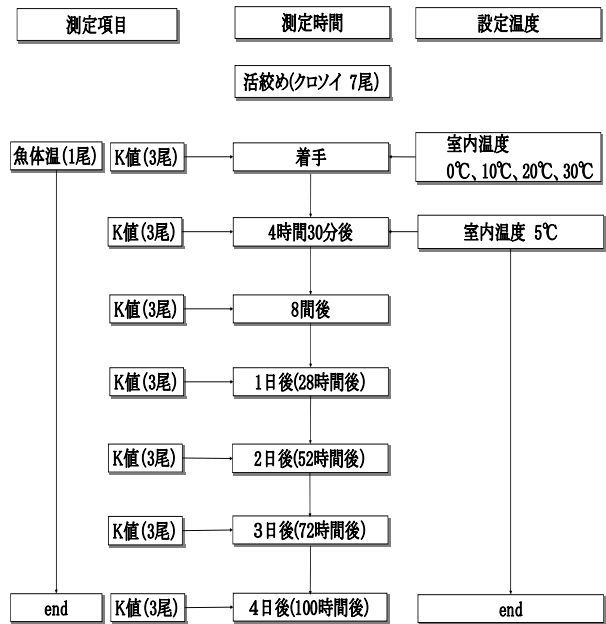


図4-10 室内実験の室内温度及びK値測定時間

(2) 室内実験結果

1) 魚体温と室内温度の経時変化

図4-11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ことが伺える。

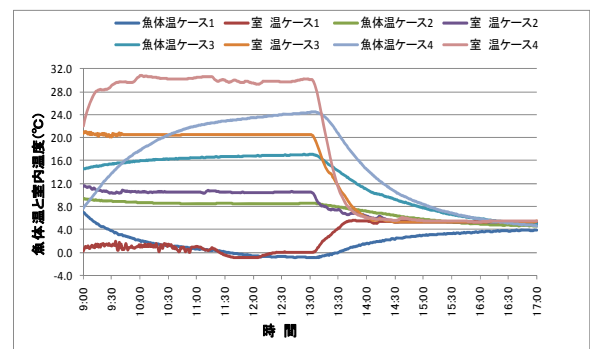


図4-11 魚体温と室内温度の経時変化

2) 魚体の鮮度

図4-12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。図4-13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。これらから、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。前述のとおり、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。

今後の魚体温－鮮度の関係を標準化するためには、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値を把握するために室温30℃以上のケースについて実験することが必要である。

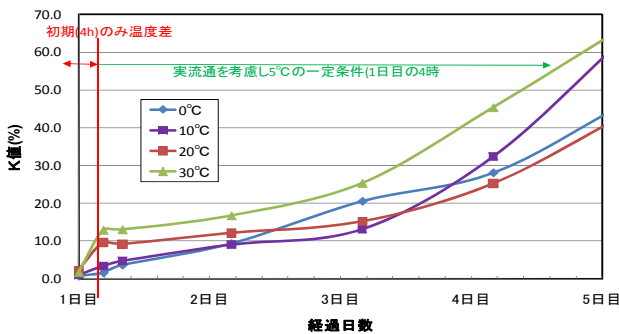


図4-12 K値の経時変化

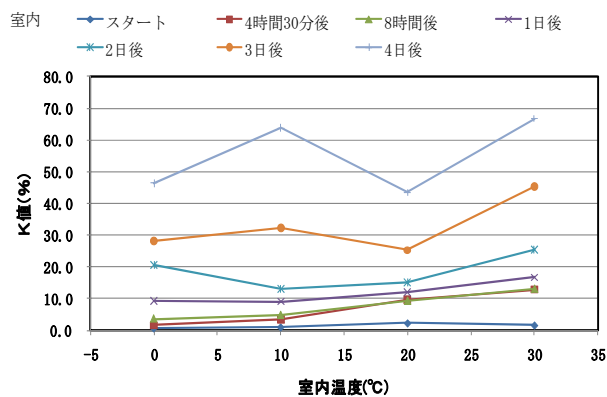


図4-13 室内温度別によるK値の経時変化

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4-14, 図4-15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。

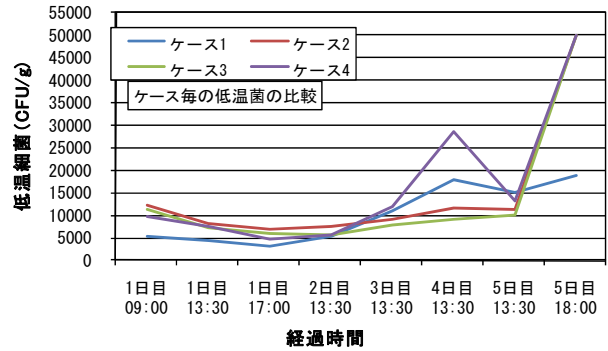


図4-14 低温細菌数の経時変化

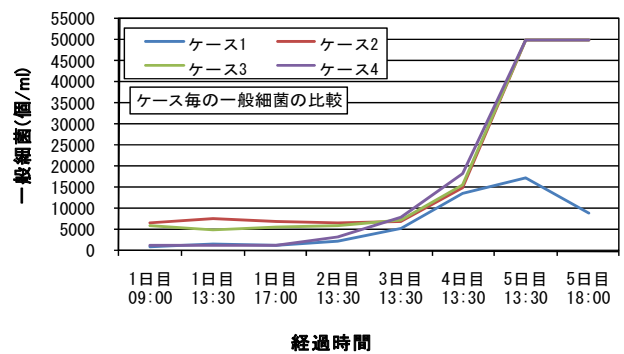


図4-15 一般細菌数の経時変化

(3) 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4-16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。

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4-3に示す。

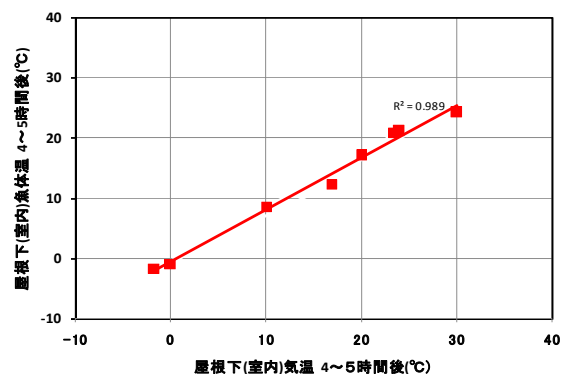


図4-16 屋根下(室内)の気温と魚体温との相関

表4-3 簡易近似式による魚体温

	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

(4) 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、日射量によって生じていることから、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4-17は縦軸に日射量、横軸に時間、また、図4-18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4-17、図4-18の差分について積分した結果を表4-4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。

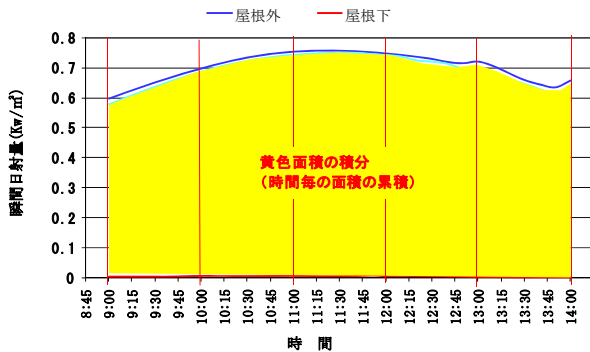


図4-17 日射量差の積分イメージ

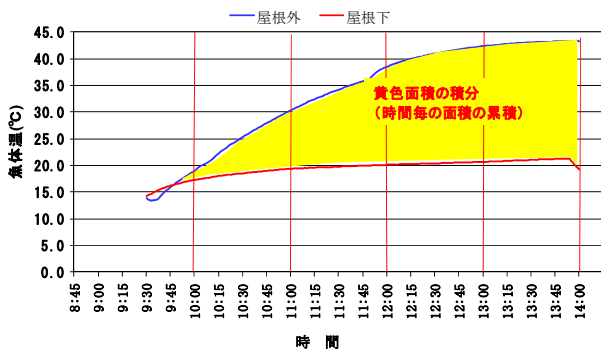


図4-18 魚体温差の積分イメージ

表4-4 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4-19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4-4の値をプロットすると、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4-4は、晴天の日の結果を示しているため、今後は様々な気候について検証していく必要がある。

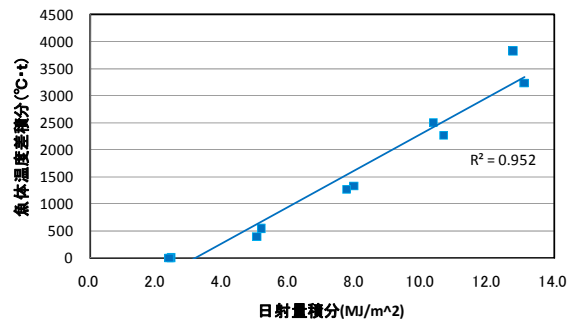


図4-19 日射量と屋下・外の魚体温差の相関

4.2.2 平成22年度に実施した実験

(1) 陸揚げ～出荷・流通の過程を想定した室内実験

陸揚げから出荷・流通の過程における鮮度の変化を把握するため、室内実験を行った。既往の実験では、初期温度を4段階(0°C、10°C、20°C、30°C)で実施しているが、出荷・流通時の鮮度の変化が大きかった初期温度10°Cと30°Cについて改めて実施した。初期温度10°Cは低温実験室(写真4-5)で行い、初期温度30°Cは恒温恒湿器(写真4-6)を用いて行った。

実験条件を表4-5、表4-6に示す。実験に使用したクロソイ活魚は、実験当日の朝市内の活魚店で購入し、活けた後、氷詰めの発泡容器に保管し、低温実験室または恒温恒湿器まで運搬した。初期温度を継続する時間は、盛漁期における屋根付き岸壁での荷揚げ・一時保管・セリ時間等の最大所用時間を想定し4時間とした。また、流通時の室温は、鮮魚

運搬トラックでの保冷温度 5℃と想定し、搬入時間と想定した 30 分間で徐々に変化させた。

(2) 実験結果陸揚げ時の気温と鮮度に関する室内実験

陸揚げ時における鮮度の変化を把握するために、初期温度 0℃および 20℃の条件について、低温実験室 (写真 4-5) において室内実験を行った。実験条件を表 4-7、表 4-8 に示す。

(3) 陸揚げ時の降雨と鮮度に関する室内実験

陸揚げ時の降雨と鮮度の変化を把握するために、恒温恒湿器 (写真 4-6) において室内実験を行った。陸揚げ時の降雨量 10mm/h 程度を想定し、降雨機 (写

真 4-7) および噴霧器 (写真 4-8) の 2 種類の降雨方法を使用した。実験条件を表 4-9、表 4-10 に示す。

(4) 日射量の影響実験

陸揚げ時における魚箱の温度変化、魚箱内の魚体温 (水) および魚箱内の氷の変化について、日射量との関係を明らかにするために、表 4-11、表 4-12 に示す条件で実験を行った。図 4-20 は、各容器における測定箇所の概略図である。実験場所は、寒地土木研究所構内の日射を遮る障害物のない屋外を屋根外 (写真 4-9)、直接日差しが差し込まない実験棟のシャッター式出入口付近を屋根下 (写真 4-10) とした。



写真 4-5 低温実験室



写真 4-6 恒温恒湿器

表 4-5 陸揚げ時の気温と出荷・流通過程の鮮度に関する実験方法および条件

項目	条件
実験ケース数	2 ケース 【Case2、Case4】
実験室温(初期)	10℃(Case2)、30℃(Case4) 【実験開始から 4 時間】
実験室温(搬入)	1 回 【4 時間経過後から 30 分間で徐々に室温 5℃へ変更、2 ケース共通】
実験室温(流通)	5℃ 【室温変更後から終了まで、2 ケース共通】
対象魚種	クロソイ活魚(活メ) 【4 尾/1 ケース】
測定項目	8 項目/1 ケース 【室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温・鮮度(K 値)・魚体長・魚体重量・魚体写真】
測定対象数 (1 ケース当り)	【K 値×3 尾・魚体温×1 尾】
測定回数	8 回/1 ケース 【K 値】
	1 分間隔の連続 【室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温】
	1 回/1 ケース 【魚体長】
16 回(K 値サンプリング前後)/1 ケース 【魚体重量・魚体写真】	
K 値定間隔	9:00、11:00、13:30、17:00(1 日目)・13:30(2~5 日目)
サンプル数 (1 ケース当り)	K 値 【3 尾×8 回=24 検体】 室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温 【一式】 魚体長 【4 尾×1 回=4 回】 魚体重量・魚体写真 【3 尾×16 回=48 回】

表 4-6 室内実験スケジュール

経過日数	1 日目				2 日目		3 日目		4 日目		5 日目		測定回数	検体数	総検体数 データ数									
	7:00	8:00	9:00	11:00	13:00	17:00	13:30	13:30	13:30	13:30														
実施時間	0-20	21-40	41-60	0-20	21-40	41-60	0-20	21-40	41-60	0-20	21-40	41-60												
実験想定内容	操業中			荷揚げ〜セリ待ち			搬入		運搬		近隣消費地着		1 日経過消費地着		2 日経過消費地着		3 日経過消費地着		4 日経過消費地着					
活メ〜開封	活メ・梱包・運搬			一時仮置			蓋開封																	
低温実験室 温度条件	室温 (10℃/30℃)																							
	室温 (5℃)																							
測定項目	室内温度												1分	1式	1式									
	室内湿度												1分	1式	1式									
	容器内温度															1分	1式	1式						
	魚体温												1分	1尾	1式									
	鮮度(K値)															8回	3尾	24						
	魚体長															8回	3尾	24						
	魚体重量															16回	3尾	48						
魚体写真															16回	3尾	48							

注) 温度条件の内、30℃については恒温恒湿器を用いて13時まで実験を行い、以後低温実験室(室温5℃)にサンプルを移動して実験を継続した。

表 4-7 陸揚げ時の気温と鮮度に関する実験方法および条件

項目	条件
実験ケース数	2 ケース 【Case1、Case3】
実験室温(初期)	0°C(Case1)、20°C(Case3) 【実験開始から 4 時間 30 分のみ】
対象魚種	クロソイ活魚(活メ) 【4 尾/1 ケース】
測定項目	8 項目/1 ケース 【室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温・鮮度(K 値)・魚体長・魚体重量・魚体写真】
測定対象数 (1 ケース当り)	【K 値×3 尾・魚体温×1 尾】
測定回数	3 回/1 ケース 【K 値】 1 分間隔の連続【室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温】 1 回/1 ケース 【魚体長】 6 回(K 値サンプリング前後)/1 ケース 【魚体重量・魚体写真】
K 値定間隔	9:00、11:00、13:30(1 日)
サンプル数 (1 ケース当り)	K 値【3 尾×3 回=9 検体】 室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温【一式】 魚体長【4 尾×1 回=4 回】 魚体重量・魚体写真【3 尾×6 回=18 回】

表 4-8 室内実験スケジュール

経過日数	1 日目												測定回数 測定間隔	検体数	総検体数 データ数				
	7:00			8:00			9:00			11:00						13:00			
実施時間	0-20	21-40	41-60	0-20	21-40	41-60	0-20	21-40	41-60	0-20	21-40	41-60	0-20	21-40	41-60				
実験想定内容	操作中						荷揚げ～セリ待ち						搬入						
活メ～開封	→			→															
活メ～開封	→			→															
蓋開封	→			→															
低温実験室 温度条件																			
室温(0°C/20°C)	→																		
室温(6°C)													1分	1式					
測定項目	室内温度	→												1分	1式				
	室内湿度	→												1分	1式				
	容器内温度	→												1分	1式				
	魚体温	→												1分	1尾	1式			
	鮮度(K値)							◎			◎			◎			3回	3尾	9
	魚体長							◎			◎			◎			3回	3尾	9
	魚体重量				◎			◎	◎		◎	◎		◎	◎		6回	3尾	18
魚体写真				◎			◎	◎		◎	◎		◎	◎		6回	3尾	18	

表 4-9 陸揚げ時の降雨と鮮度に関する実験方法および条件

項目	条件
実験ケース数	本実験 3 ケース 【降雨器、非降雨、噴霧器】 予備実験 2 ケース 【降雨器、噴霧器】
恒温恒湿器内の実験温湿度	3 ケースともに、室温 20°C・湿度 100%に設定 【実験開始から終了まで】
対象魚種	クロソイ活魚(活メ) 【4 尾/1 ケース】
測定項目	8 項目/1 ケース 【室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温・鮮度(K 値)・魚体長・魚体重量・魚体写真・雨量(2 ケースのみ)、雨温】
測定対象数 (1 ケース当り)	【K 値×3 尾・魚体温×1 尾】
測定回数	3 回/1 ケース 【K 値】 1 分間隔の連続【室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温・雨温】 1 回/1 ケース 【魚体長】 6 回(K 値サンプリング前後)/1 ケース 【魚体重量・魚体写真】 5 回(1 時間間隔)/1 ケース 【雨量】
K 値定間隔	9:00、11:00、13:30(1 日)
サンプル数 (1 ケース当り)	K 値【3 尾×3 回=9 検体】 室内温度・室内湿度・容器内温度・魚体温・雨温【一式】 魚体長【4 尾×1 回=4 回】 魚体重量・魚体写真【3 尾×6 回=18 回】 雨量【1 時間×5 回=5 データ】

注) 室温と湿度は、室蘭市の夏季(8月20日～9月10日)の降雨時における気温と湿度の平均値より設定した。

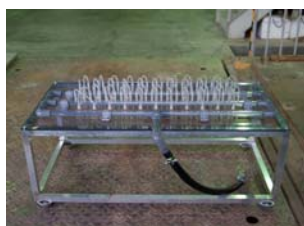


写真 4-7 降雨機の設置状況



写真 4-8 噴霧器の設置状況



5.1 寒冷地臨海施設の利用環境改善に関する研究

表 4-10 実験スケジュール

経過日数		1日目												測定回数 測定間隔	検体数	総検体数 データ数		
		実施時間																
実験想定内容		換室中						荷揚げ～セリ待ち						搬入				
活〆～開封	活〆・梱包・運搬	→																
	一時仮置	→																
恒温恒湿器 置・湿度条件	蓋開封	→																
	蓋開封	→																
測定項目	室温(20℃)	→												1分		1式		
	室温(100%)	→												1分		1式		
	室内湿度	→												1分		1式		
	室内湿度	→												1分		1式		
	容器内湿度	→												1分		1式		
	魚体温	→												1分	1尾	1式		
	鮮度(体長)															3回	3尾	9
	魚体長															3回	3尾	9
	魚体重量															6回	3尾	18
	魚体写真															6回	3尾	18
雨量															5回		1式	
雨温															1分		1式	

注) 雨量・雨量に関しては、降雨器、噴霧器を用いた2ケースの実験のみ測定した。

表 4-11 日射量と魚箱の温度に関する実験方法および条件

項目	条件
実験ケース数	3 ケース 【晴天時、曇天時、再測曇天時】
実験想定場所	2 箇所 【屋根下、屋根外】
実験対象容器素材	2 素材 【発泡容器、プラスチック容器】
容器条件	7 条件 (条件 1) 【発泡容器 /蓋あり/空】 (条件 2) 【発泡容器 /蓋あり/水】 (条件 3) 【発泡容器 /蓋なし/水】 (条件 4) 【発泡容器 /蓋あり/水】 (条件 5) 【発泡容器 /蓋なし/水】 (条件 6) 【プラスチック容器/蓋なし/水】 (条件 7) 【プラスチック容器/蓋なし/水】
測定項目	7 項目/1 ケース 【気温湿度・日射量・風向風速(周辺気象)・魚箱温度(熱電対センサ、サーモグラフィ、ハンディ表面温度計)・氷重量(諸条件付き)】
熱電対センサ 温度測定箇所	14 箇所 (条件 1) 【箱内(空間温)・蓋表面(表面温)】 (条件 5) 【箱内(空間温)・氷空隙(空間温)】 (条件 2) 【箱内(空間温)・水中(水温)】 (条件 6) 【箱内(空間温)・水中(水温)】 (条件 3) 【箱内(空間温)・水中(水温)】 (条件 7) 【箱内(空間温)・氷空隙(空間温)】 (条件 4) 【箱内(空間温)・氷空隙(空間温)】
測定回数	1 分間隔の連続測定(1 ケース) 【気温・湿度・サーモグラフィ温度・熱電対センサ温度】 1 秒間隔の連続測定(1 ケース) *記録計内部計算により 1 分平均値で算出 【日射量・風向風速】 1 時間間隔の測定(7 回/1 ケース) 【ハンディ表面温度・氷重量】
実験時間	9:00~15:00(1 ケース)*屋根下、屋根外同時

表 4-12 実験スケジュール

経過日数		1日目								測定回数 測定間隔	箇所	総検体数 データ数				
		実施時間														
実験想定内容		換室中				荷揚げ～セリ待ち				運搬消費地へ						
実験 条件 屋根下 屋根外	(1) 発泡魚箱	蓋あり+空														
	(2) 発泡魚箱	蓋あり+水あり														
	(3) 発泡魚箱	蓋なし+水あり														
	(4) 発泡魚箱	蓋あり+水あり														
	(5) 発泡魚箱	蓋なし+水あり														
	(6) プラスチック魚箱	蓋なし+水あり														
	(7) プラスチック魚箱	蓋なし+水あり														
測定 項目	気温・湿度	屋根下、外												1分	1箇所	1式
	日射量	屋根下、外												1分	1箇所	1式
	風向風速	屋根下、外												1分	1箇所	1式
	温度【熱電対センサ】	(1) 【箱内(空間温)・蓋表面(表面温)】												1分	2箇所	2式
		(2) 【箱内(空間温)・水中(水温)】												1分	2箇所	2式
		(3) 【箱内(空間温)・水中(水温)】												1分	2箇所	2式
		(4) 【箱内(空間温)・氷空隙(空間温)】												1分	2箇所	2式
		(5) 【箱内(空間温)・氷空隙(空間温)】												1分	2箇所	2式
		(6) 【箱内(空間温)・水中(水温)】												1分	2箇所	2式
		(7) 【箱内(空間温)・氷空隙(空間温)】												1分	2箇所	2式
温度【サーモグラフィ】	魚箱全体および床面												1分	1式	1式	
温度【表面温度計】	表面、側面×2、床面【7魚箱】												7回	22箇所	154箇所	
氷重量	魚箱(4)、(5)、(7)の3ケース												7回	3ケース	21回	

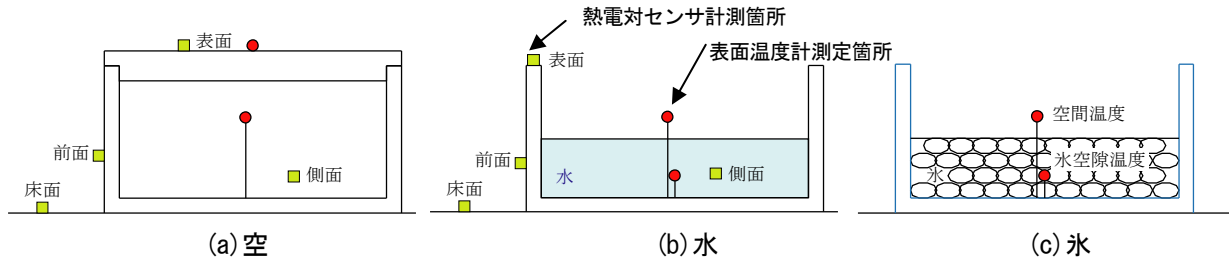


図 4-20 各容器における測定箇所の概略図



写真 4-9 屋根外



写真 4-10 屋根下

(5) 実験結果

1) 魚体温の変化

図 4-21 は、鮮度に関する全 4 ケースの実験における魚体温の時間変化を示している。Case2~4 (初期温度 10℃~30℃) では、実験開始の 9:00 から約 2 h で平衡状態になり、魚体温が徐々に室温に近づいている。実験開始から 4 時間経過した魚体温は、気温に 0.9 を乗じた値で推定できることを確認した (表 4-13、図 4-22)。

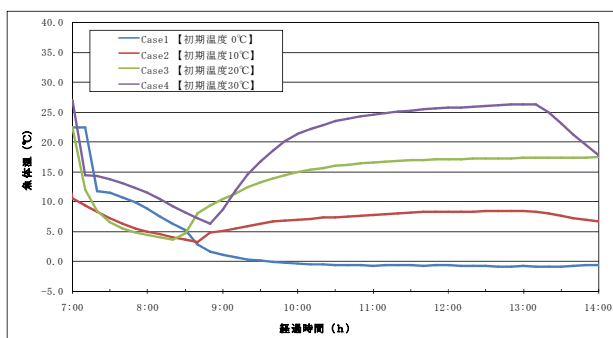


図 4-21 室内実験における魚体温の変化

表 4-13 4 時間経過後の魚体温と気温

実験ケース	気温	魚体温	気温×0.9
Case1	0	-0.8	0.9
Case2	10	8.4	9.0
Case3	20	17.3	18.0
Case4	30	26.4	27.0

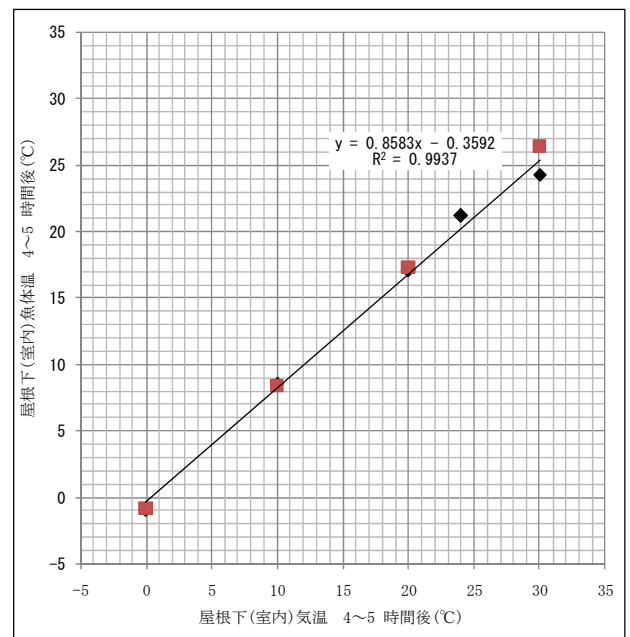


図 4-22 屋根下の気温と魚体温の相関図

2) 鮮度の変化

① 固定化作業及び資料凍結による鮮度への影響

本実験では、試料採取直後に試験することが困難であったため、採取された試料を固定化液 (PCA 溶液) に入れて冷凍保存し、試験室に搬送し、解凍後、高速液体クロマトグラフを使用した手法で K 値を測定した。一般的な手順と比較して、固定化作業及び凍結保存する点に特徴がある。この手順に関する鮮度への影響について、回収率および平行精度を検討したところ、一般的な理化学試験と同様な妥当な成果が得られることを確認した (表 4-14)。

表 4-14 回収率および平行精度の比較

	一般的な手順	本実験の手順
回収率	70~120%	90~110%
平行精度	10%以下	10%以下

②陸揚げ時の気温と鮮度

- ・漁港内作業時間帯における鮮度の変化

陸揚げ時の気温に関する室内実験のK値測定結果を表 4-15 に示す。経過時間 0.0 h は荷揚作業の開始時間、4.5 h は漁港内の作業終了時間を想定している。

この時間内における鮮度の変化を図 4-23 に示す。活け後の鮮度は 10%以下と言われており、各ケースの初回サンプルは 0.3~3.3%で、適切な試料を使用していると考えられる。

- ・陸揚げ時の気温と出荷・流通過程の鮮度

平成 21 年度の陸揚げ時気温 10℃の条件において、3 日目以降のK値が大きく増加したことから、平成 21 年度に引き続いて、出荷・流通過程を想定した実験を行った。表 4-16 は平成 21 年度と平成 22 年度のK値の平均値を比較したものである。

表 4-15 各ケースのK値測定結果

Case1【0℃】 経過時間	H22			平均
	K値(%)	K値(%)	K値(%)	
0.0	0.40	0.30	0.40	0.37
1.5	0.40	0.60	0.60	0.53
4.5	0.50	0.60	1.50	0.87

Case2【10℃】 経過時間	H22			平均
	K値(%)	K値(%)	K値(%)	
0.0	0.80	1.20	1.10	1.03
1.5	1.60	4.00	3.70	3.10
4.5	3.20	5.80	5.30	4.77
8.0	4.90	6.00	5.80	5.57
28.5	8.10	8.10	7.50	7.90
52.5	15.00	9.80	9.40	11.40
76.5	16.70	13.50	13.20	14.47
100.5	39.90	25.70	24.80	30.13

Case3【20℃】 経過時間	H22			平均
	K値(%)	K値(%)	K値(%)	
0.0	1.20	1.10	3.30	1.87
1.5	0.90	0.80	4.10	1.93
4.5	1.40	1.60	6.50	3.17

Case4【30℃】 経過時間	H22			平均
	K値(%)	K値(%)	K値(%)	
0.0	2.00	1.60	1.30	1.63
1.5	5.70	4.20	3.20	4.37
4.5	9.40	8.20	12.20	9.93
8.0	9.30	13.40	12.50	11.73
28.5	14.00	25.80	23.80	21.20
52.5	28.30	44.40	50.70	41.13
76.5	36.40	68.90	72.10	59.13
100.5	40.20	76.30	77.20	64.57

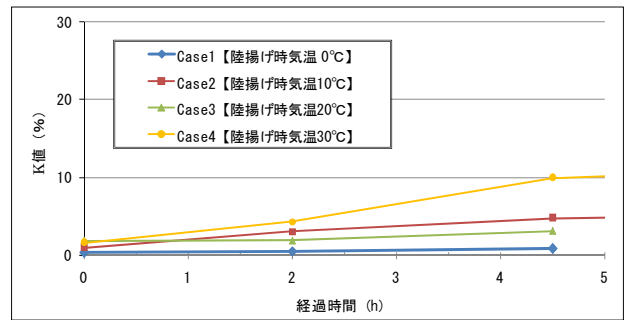


図 4-23 漁港内作業時間帯における鮮度の変化

Case2 の 76.5 h、100.5 h において、約 2 倍となっているが、表 2.8 Case4 の試料毎のK値では 30%の差が生じている。そのため、平成 21 年度の気温 10℃のK値は試験のばらつきとして捉えることとした。そして、平成 21 年度及び平成 22 年度のK値測定結果を総合して、陸揚げ時の気温と出荷・流通過程における鮮度変化の標準化を行った (図 4-24)。

気温 30℃は 30 h 程度で生鮮取扱目安のK値 20%を超えていた。経過時間 54 h 以降では、気温 10℃と

表 4-16 K値測定結果の比較

Case2【10℃】 経過時間	H21平均値	H22平均値
0.0	1.00	1.03
1.5		3.10
4.5	3.40	4.77
8.0	4.73	5.57
28.5	9.07	7.90
52.5	13.13	11.40
76.5	32.37	14.47
100.5	63.80	30.13

Case4【30℃】 経過時間	H21平均値	H22平均値
0.0	1.60	1.63
1.5		4.37
4.5	12.87	9.93
8.0	13.00	11.73
28.5	16.70	21.20
52.5	25.30	41.13
76.5	45.37	59.13
100.5	66.70	64.57

20℃のK値にほとんど差はなく、気温 30℃も含めて全ての条件で同じような増加傾向を示した。

また、一般的に生鮮扱いのK値の目安は 20%と言われており、気温が 30℃と 20℃以下において、生鮮取扱時間の差が約 1.5 日 (36 h) 生じると考えられる。また、気温 0℃の条件で 28.5 h から 52.5 h にK値が大きく増加している。これは、陸揚げ時に凍結した魚体が流通過程の 5℃で解凍され、鮮度が大きく低下したのと考えられる。

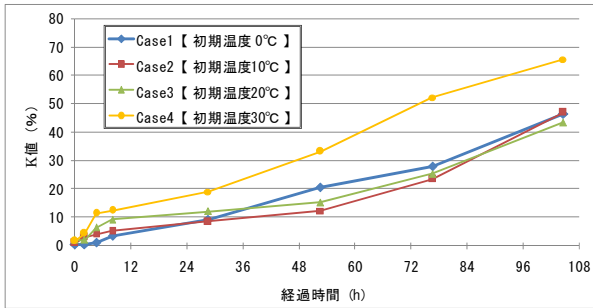


図 4-24 陸揚げ時の気温と出荷・流通過程の鮮度の変化

3) 雨天の影響実験

降雨が及ぼす鮮度(K 値)への影響として降雨を約 10mm/h (気象庁のやや強い雨)¹²⁾ に想定して実験を行った。実験における降雨量を表 4-17 に示す。

表 4-17 降雨量のまとめ

降雨器

時間/項目	累積雨量 (ml/h)	1時間雨量 (ml/h)	換算雨量 (cm/h)
	0		0
0 h-1 h	90.00	90.00	1.15
1 h-2 h	210.00	120.00	1.53
2 h-3 h	290.00	80.00	1.02
3 h-4 h	400.00	110.00	1.40
4 h-5 h	500.00	100.00	1.27
平均		100.00	1.27

*直径10cm×深さ1cmに溜まる雨量78.54ml/h

噴霧器

時間/項目	累積雨量 (ml/h)	1時間雨量 (ml/h)	換算雨量 (cm/h)
	0		0
0 h-1 h	64.00	64.00	1.27
1 h-2 h	140.00	76.00	1.51
2 h-3 h	202.00	62.00	1.23
3 h-4 h	280.00	78.00	1.55
4 h-5 h	347.00	67.00	1.33
平均		69.40	1.38

*直径8cm×深さ1cmに溜まる雨量50.27ml/h

雨天の影響実験における魚体のK値測定結果を図 4-25 に示す。4.5 時間経過した後の鮮度(K 値)が最高で 4.0%と、室内実験の Case3(20°C)で平均 3.7%と同等の結果が得られた。降雨器及び噴霧器による魚体への表面的な濡れ(10mm/h 程度)では、K 値への大きな影響は見られなかった。但し、イカのように真水に当たることで変色・商品価値が低下する魚種等については、K 値に関わらず雨天時の屋根の効果は大きいと考える。

また、室温 20°C(湿度 68~70%)と雨天の影響実験ケースを比較すると、後者の鮮度が良い(K 値が低い)結果となった。鮮度K 値はばらつきがあることは

間違いないが、同じ気温の場合には魚体表面が湿る程度(湛水しない状態)の湿度の高い状態の方が鮮度低下は緩やかになる可能性がある。

一方、平成 21 年度の浸置条件(排水機能の無いパレット等に魚体が入り真水に湛水する状態)では、実験 2 時間程度でK 値が急激に上昇している。これ気温は屋根外と屋根下の条件でほぼ差がないことから、魚箱材質の断熱効果による温度上昇に違いが生じていたと考えられる。は、真水による試験であったため、魚体への浸透圧の影響であると考えられる。そのため、雨天の影響を無くす上では、滞留しない排水機能を有する容器の使用が重要と考えられる。

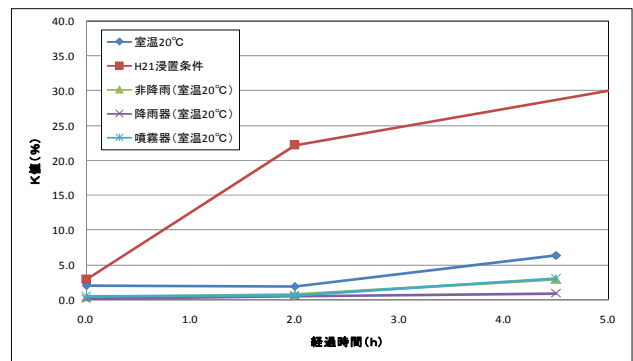


図 4-25 雨天の影響実験における魚体鮮度の変化

※室温 20°Cは H21 及び H22 室内実験の平均値 (湿度 60~70%)
 ※H21 浸置条件はトレイ内の水に魚体を浸けた状態での試験

4) 日射量と魚箱等の温度

①魚体温(水)と気温の変化について

本実験では、発砲スチロール製魚箱(発砲箱)とプラスチック製魚箱(プラ箱)を置き、魚体に見立てた水を魚箱内に入れて、日射の有無による温度変化を測定した。

図 4-26(a)は晴天時、図 4-26(b)は曇天時における魚箱内の魚体温(水)、気温、床面温度の変化である。晴天時の発砲箱とプラ箱の結果を比較すると、日射条件に関係なくプラ箱の方が 5°C程度高い温度となっている。気温は屋根外と屋根下の条件でほぼ差がないことから、魚箱材質の断熱効果による温度上昇に違いが生じていたと考えられる。そして、曇天時においては、魚箱材質による差がわずかであった。これは、床面温度の差が小さく、また気温も低いため、魚体温(水)の変化もほとんど生じなかったものと考えられる。

②日射量と魚体温(水)について

日射量と魚体温(水)の温度変化について整理するために、既往成果である日射量積算値と魚体温差積算値の関係図(図 4-27)に魚体温(水)の結果を

プロットした。日射量積算値と魚体温差積算値からは魚体を使用した実験結果とほぼ変わらない傾向が得られた。このように、日射・魚体・水の温度差の相関がとれていることから、熱特性については「魚体」≒「水」であったと考えられる。

また、気温と屋根下魚体温の関係図(図4-28)に、気温と魚体温(水)の結果をプロットした。既往の成果では4~5h経過後の屋根下の魚体温は気温の0.9倍で推定できるが、魚体温(水)は発砲箱で気温の0.6倍、プラ箱で気温の0.7倍と0.9倍を下回っていた。魚体と水の熱特性が同等であったことを踏まえ、この結果は魚体単体で行った試験と容器内に入れた水で気体との接触面積の違いが影響したものと考えられる。屋根付岸壁の陸揚げ作業の実態としては、魚箱を用いる場合も用いない場合もあるため、今回の結果を誤差と捉え、4~5h経過後の屋根下の魚体温は気温の0.8倍で推定することとした。

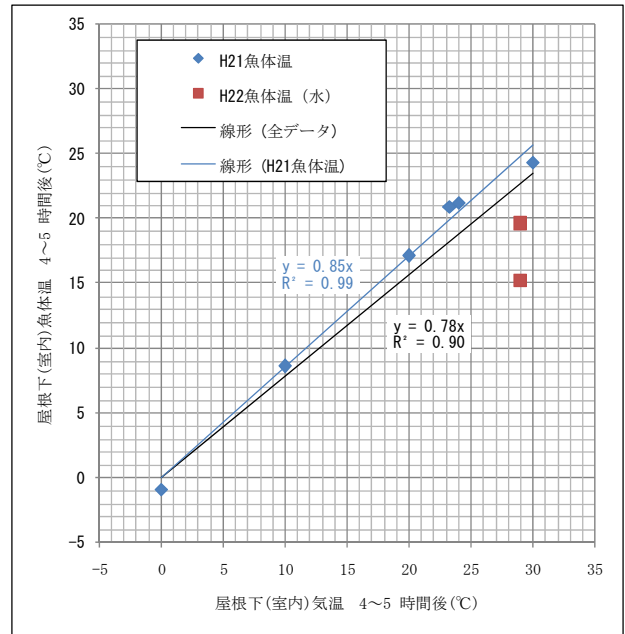
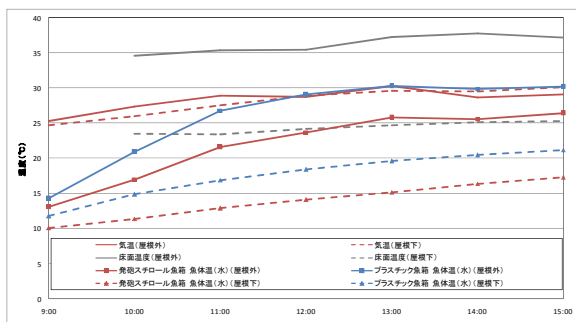


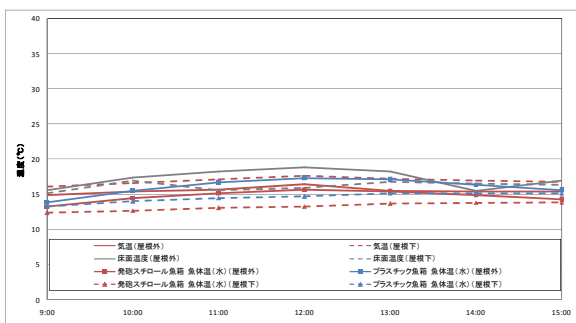
図4-28 4~5h経過後の気温と屋根下の魚体温

③日射量と床面温度について

床面温度の影響が大きいことが得られたため、床面温度と日射量の関係を整理した。図4-29は、気温と床面温度の時間変化をプロットしたものである。晴天時の床面温度では屋根外と屋根下の温度差が約12℃生じており、魚体と床面の近い網外し作業を岸壁で行うような場合には、魚体の鮮度に対する床面温度差の影響が大きいと予想される。一方、曇天時の気温と床面温度は、屋根外と屋根下のあまり見られない。



(a)晴天時



(b)曇天時

図4-26 魚体温(水)と気温の変化

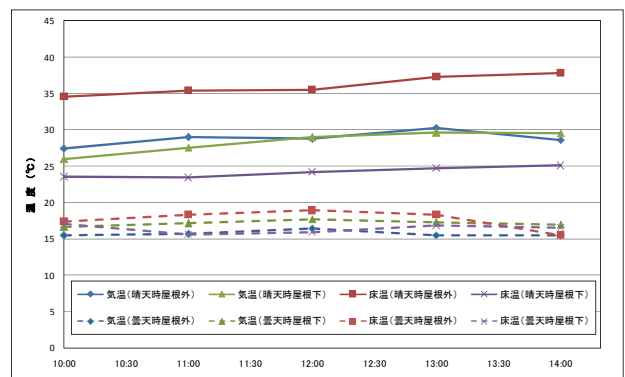


図4-29 気温と床面温度の変化

ここで、床面温度も魚体温と同様に、屋根外と屋根下の床面温度差と日射量積算値で整理した(図4-30)。床面温度も日射量と高い相関が得られており、魚体温の関係(図4-27)と同じような傾きとなっている。

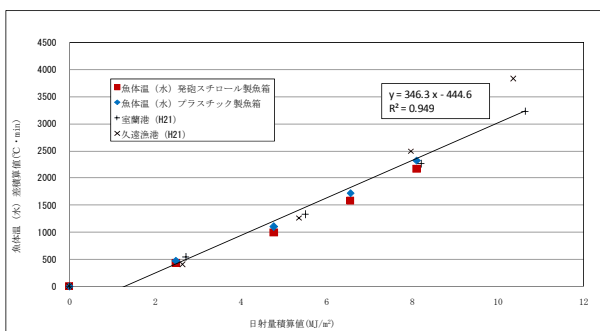


図4-27 日射量積算値と魚体温差積算値

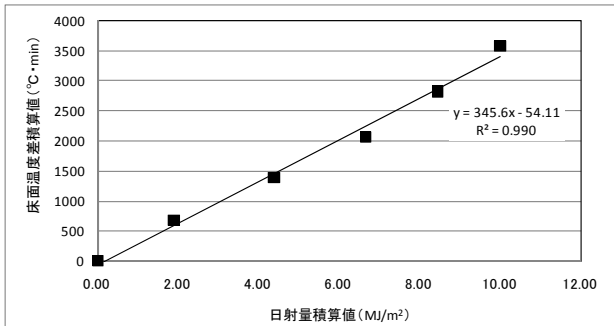


図 4-30 日射量積算値と床面温度差積算値の関係

④魚箱と日射量の関係について

図 4-31、図 4-32 は、屋根外および屋根下における気温、床面温度、発砲スチロール製魚箱の温度およびプラスチック製魚箱（プラ箱）の温度の時間変化をプロットしたものである。屋根外の条件（図 4-31）では、日射によりいずれの魚箱も温度上昇しているが、約 3 時間後には気温と同じような温度で安定している。一方、屋根下の条件（図 4-32）においては、発砲箱の温度が気温に近い温度となっているのに対し、プラ箱は魚体温（水）に近い温度になっている。この違いから、発砲箱の温度は断熱されている魚体温（水）とは別に気温に収束し、プラ箱の温度は断熱機能が低いため、気温と魚体温（水）とともに変化していると考えられる。

また、屋根外では魚箱の断熱効果の違いにより床面温度の影響を受けることが推測され、屋根下の温度変化に魚箱の違いが見受けられない。そのため、屋根の効果には、床面温度の上昇を抑制すると同時

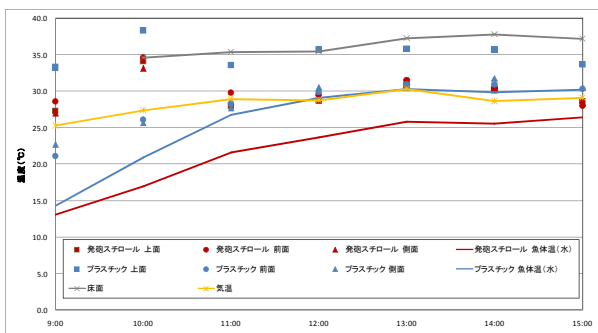


図 4-31 屋根外における魚箱等の温度変化

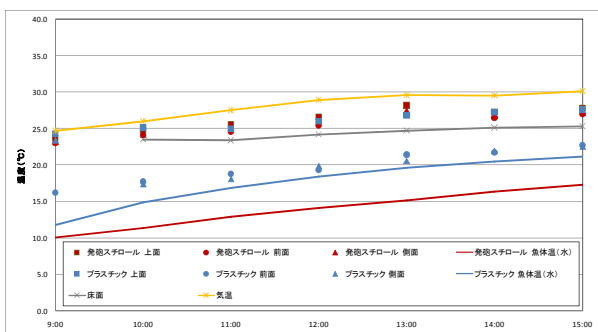


図 4-32 屋根下における魚箱等の温度変化

に、魚箱の温度上昇を抑制する効果を確認できた。

5) 日射量と魚箱内の氷

氷は、容器内の高さ 7cm を目安に 2 つの袋に分けて入れ、袋内の重量を計測した（写真 4-11）。



写真 4-11 容器内の氷

図 4-33 は、晴天時の容器条件 5、7 について、魚箱内の氷減量の時間変化をプロットしたものである。

氷減量率（%）は氷重量の減少量を初期重量で割った値であり、発砲スチロール製魚箱の条件 5 に比べて、プラスチック製魚箱の条件 7 の方が減少率が大きくなっている。

条件 7 では実験開始から約 3 時間で氷がほとんど無くなっているが、それまでの屋根外と屋根下の氷

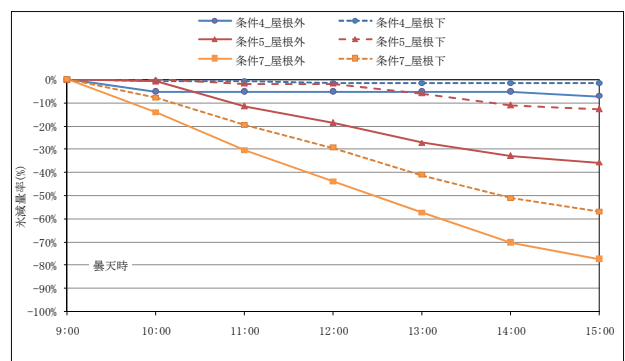
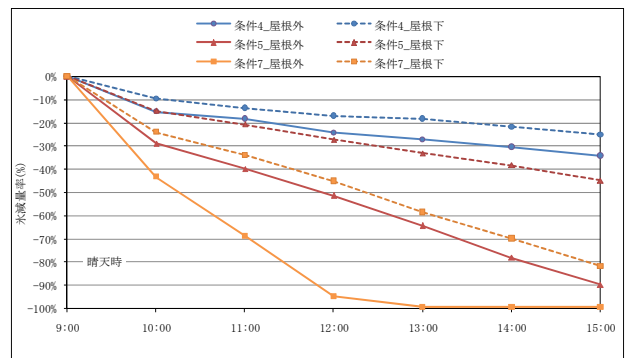


図 4-33 氷減量率の時間変化

減量率の比がおおよそ 2 : 1 であったことから、晴天時には屋根の配置により、氷の使用量を 1 / 2 に減らすことが可能である。また、曇天時においては、氷の使用量を 1 割減らすことが可能 10% 程度と見込まれる。

一方、氷減量率と日射量の関係について、図 4-34 に整理した。横軸は日射量積算値、横軸は屋根外と屋根下の氷減量率の差を取っており、晴天時と曇天時の結果もプロットした。魚箱の条件により傾向が異なり、魚体温差と比べるとばらつきも大きいため、

日射量積算値から推定は避ける方が望ましい。氷が融解すると真水の容器内の湛水により鮮度低下(または変色等の品質低下)が生じる可能性があるため、排水性能の無い魚箱を使用する場合には注意しなければならない。

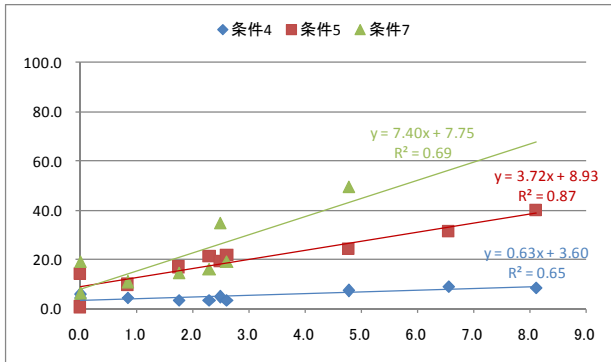


図 4-34 日射量積算値と魚箱内の氷減量率の関係

4. 3 屋根付岸壁における水産物に対する鮮度保持効果

4.3.1 屋根付岸壁が有する鮮度保持効果に関する評価項目

(1) 陸揚げ時気温低減(または凍結防止)による流通・消費段階に至る鮮度保持効果

漁港での水産物の短い滞在時間であっても、その初期段階の温度インパクトにより、流通から消費段階の鮮度に大きく影響する。そのため、屋根付き岸壁設置により陸揚げ時気温の低減を図ることは、流通・消費段階に至る鮮度保持効果があると考えられる。

(2) 魚体への直接の日射防止による鮮度保持効果

屋根の有無により、晴天においても曇天においても、鮮度との関連性が高い魚体温に差が見られたことから、屋根付き岸壁設置により魚体への直接の日射防止効果があると考えられる。

(3) 床面への日射防止(輻射熱防止)による鮮度保持効果

屋根が無い場合は、日射により床面温度が気温より大きく上昇するため、魚体に輻射熱を与えている可能性が高い。そのため、屋根付き岸壁設置は床面への日射防止(輻射熱防止)効果があると考えられる。

(4) 魚体への雨防止による鮮度及び品質保持効果

排水機能の無いパレット等に魚体が入り、真水に漬かる(魚体への浸透圧に影響する)状態にやむを得ざる場合は、屋根付き岸壁設置によりK値で把握可能なレベルの鮮度保持効果が考えられる。また、イカのように真水に当たることで変色・商品価値が

低下する魚種等についても、雨防止による品質保持効果があると考えられる。

(5) 氷減量削減による鮮度保持及び経費削減効果

鮮度保持のための氷の融解は、水産物の鮮度保持が図られないことに加え、真水の容器内への湛水による鮮度低下(または変色等の品質低下)を生じさせる可能性が高い。また、生産者への氷経費も余計に生じる。屋根付き岸壁設置により、氷減量削減による、水産物の品質・衛生向上に加え、生産者等の経費削減効果が考えられる。

(6) 清潔保持に関わるソフト対策への鮮度保持上のサポート効果

細菌付着防止(清潔保持)の観点から衛生管理上望ましいプラスチックの箱等は、発泡箱と比べて断熱機能が不足している。屋根付き岸壁設置により、生産者が鮮度保持以外の観点で進めてきたソフト対策について、例えばプラスチックの断熱機能の不足等をサポートする効果があると考えられる。

4.3.2 屋根付岸壁の日射防止による鮮度保持効果の推定手法

屋根付岸壁が有する鮮度保持効果に関する評価項目(1)および(2)に着目し、屋根付岸壁の日射防止に係わる鮮度保持効果の推定手法を整理した(図 4-35)。以下に、推定手法について述べる。

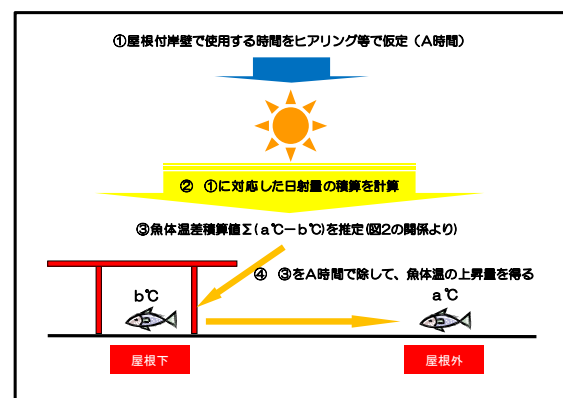


図 4-35 日射防止で抑制される魚体温の推定手法

(1) 屋根付き岸壁利用魚種の簡易なヒアリング

屋根付き岸壁を利用する漁業種類毎に、漁期、陸揚げ開始時間、漁港(岸壁)での水産物滞在時間等について、簡易なヒアリング等で把握する。

(2) 日射量の積算

全天日射量を観測し、漁港(岸壁)での水産物滞在時間に対応する日射量を積算する。

なお、気象官署で公表されているデータは、昼夜を含めた時間当たりの平均値が示されており、そのまま日射量を積算すると過小評価になる。そのため、

日射量の詳細データを入力し、漁港(岸壁)での水産物滞在時間で積算することが望ましい。

(3) 魚体温差積算値を推定

屋根外と屋根下の魚体温差の積算値は、図 4-36 に示すような日射量積算値と高い相関が得られている。そのため、日射量積算値から魚体温差積算値を下式により推定することが可能である。

$$y = 346.3x - 446.5$$

y : 魚体温差積算値 (°C・min)
x : 日射量積算値 (MJ/m²)

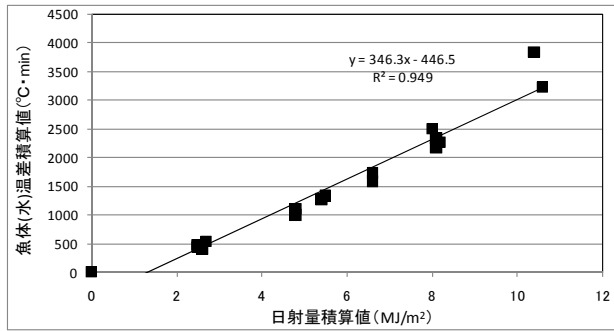


図 4-36 日射量積算値と魚体温差の関係

(4) 屋根外と屋根下の魚体温の推定

1) 屋根下の魚体温

屋根下の魚体温は、船上から運搬する際の取扱い温度で設定することが考えられる。しかしながら、取扱時間が長い場合などで魚体温が明らかでない場合には、屋根下の魚体温と気温に高い相関(図 4-37)が得られていることから、気温に 0.9 を乗じて推定することが可能である。

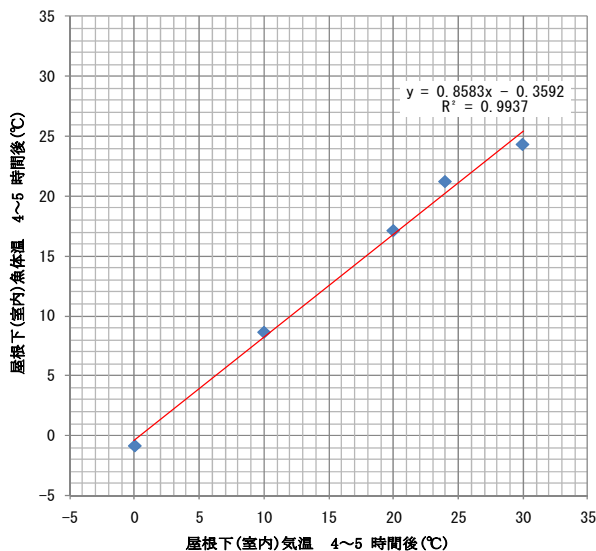


図 4-37 気温と屋根下の魚体温の関係

2) 屋根外の魚体温

魚体温差積算値を水産物滞在時間除すことにより、屋根外と屋根下の魚体温度差が得られる。魚体温差については、漁港(岸壁)での水産物滞在時間におけ

る平均的な温度差を求める方法(図 4-38)と日射による魚体温上昇が大きい場合の温度差を求める方法(図 4-39)が考えられる。

なお、後者は過大な温度差を見積もる可能性があるため、日射量の多い期間など限定して使用することが望ましい。

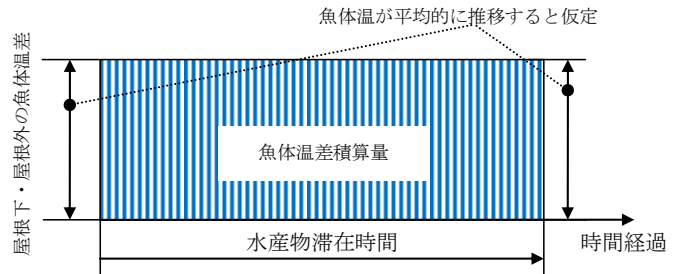


図 4-38 平均的な温度差

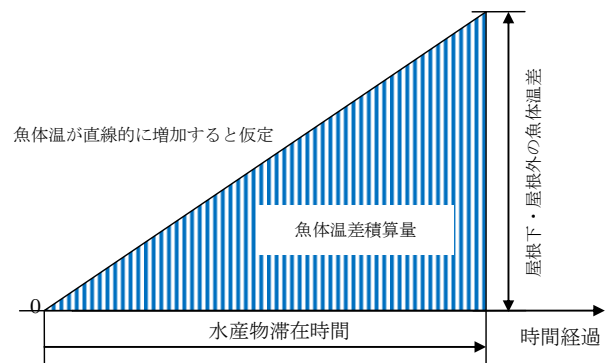


図 4-39 魚体温上昇が大きい場合の温度差

(5) 鮮度の推定

(4)で求められた屋根下の魚体温と屋根外の魚体温から図 4-40 を用い、鮮度を推定することができる。

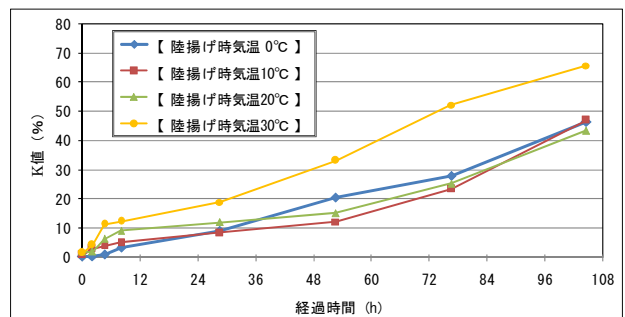


図 4-40 陸揚げ時気温の違いによる K 値の変化

4.3.3 屋根付岸壁が有する鮮度保持効果の貨幣化

これまでの実験を通して、屋根付岸壁の鮮度保持効果として、1 日程度の流通範囲拡大は得られると考えられる。これを前提条件として、貨幣化の手法を検討することとした。

貨幣化に関する検討として、①流通条件差、②製品仕向、③市場関係者等へのヒアリング・アンケート等が想定されるが、③は個別の条件が多いと考え

られるため、①および②の一般化について検討を行った。

(1) 流通条件差

北海道の離島においては、離島漁港で陸揚げする場合にはフェリーによる輸送があることから、道内漁港に陸揚げする場合に比べて1日程度の流通の遅れが生じている。そして、この流通条件の不利により、鮮度低下等を理由とした単価下落が生じている。

表4-18は、「利尻島」、「礼文島」、「奥尻島」の産地単価を比較したものである。道内漁港の単価と比較すると離島の単価は3割～9割であることがわかる（1割～7割の下落）。礼文町等の極端に低い単価は、鮮度の問題のみならず、取り扱い数量が少ないことに起因して値が付いていないことも想定される。しかし、十分な量が獲れている奥尻町の9割程度の値（1割の下落）が、最も流通条件の不利（鮮度低下）による価格を示していると考えられる。このことから、流通条件差（1日程度）による鮮度低下により、1割程度の単価下落が生じていると見込まれる。

(2) 製品仕向

鮮度の差により、「鮮魚」から「冷凍」等へ製品仕向が変化することを想定し、その単価差による貨幣化について検討した。表4-19は、同一魚種において製品仕向別の単価を比較したものである。生鮮と比較し冷凍の単価は6割～9割の現状が判明した（1割～4割の下落）。鮮度が低いものを必ずしも冷凍に回すわけでは無いが、冷凍は生鮮での流通範囲外（時間及び距離）における対応の一つのため、これら価格差は鮮度差の一つの指標として捉えられる。以上より、鮮度低下による製品仕向の変更により、1～4割程度の単価下落が生じていると見込まれる。

(3) 貨幣化について

流通条件差と製品仕向の単価差から、水産物の鮮度低下により1～4割程度の単価下落が想定される。このことを踏まえ、屋根付き岸壁整備により生鮮水産物の流通が1日伸びる状況が創出される場合には、最低1割程度の単価下落防止効果が想定可能と考えられる。

表 4-18 産地別の単価の比較

	地域		漁獲量 (t)	漁獲金額 (千円)	単価 (千円/t)	本土単価比
するめいか	北海道全体		85,979	15,698,796	183	—
	利尻・礼文	(本土)稚内市	1,334	342,147	256	—
		(離島)礼文町	8	678	85	33%(対 稚内)
		(離島)利尻町	3	404	135	53%(対 稚内)
		(離島)利尻富士町	13	1,736	134	52%(対 稚内)
	奥尻	(本土)せたな町	2,040	524,308	257	—
		(本土)江差町	962	247,307	257	—
		(離島)奥尻町	1,752	397,811	227	88%(対 瀬棚)

表 4-18 製品仕向別の単価の比較

	地域	数量 (t)	金額 (千円)	単価 (千円/t)	生鮮単価比
するめいか	生鮮	4,358	1,526,929	350	—
	冷凍	1,803	584,397	324	93%
ほっけ	生鮮	939	308,742	329	—
	冷凍	7,611	1,679,575	221	67%
白さけ	生鮮	2,706	1,196,400	442	—
	冷凍	4,627	1,147,794	248	56%
さんま	生鮮	3,105	899,223	290	—
	冷凍	1,360	241,876	178	61%

※札幌中央卸売市場の年報より

5. まとめ

本研究では、港内防風雪施設内の作業環境と作業効率評価指標の提案、港内防風雪施設設計評価マニュアルの作成、漁獲物に対する衛生管理機能の評価法提案を行った。以下に、主要な結論を示す。

5. 1 港内防風雪施設内の作業環境と作業効率評価指標の提案

- ① 被験者実験により、作業環境の変化や継続時間に対応した作業者の温熱心理反応に関するデータ取得を行った。
- ② 既往の5つの温熱指標及び考案した新指標(WCI改良型)について、温熱心理反応に関するデータと温熱指標との相関を解析し、検討したすべての指標について、有意水準1%の有効性を確認した。特に、WCI改良型、WCI、TSIがほぼ同等で高い相関があるのを確認した。また、温冷感との関係(回帰曲線)の男女間の差は認めなかった。
- ③ 温熱心理反応データとの相関性、及び現場レベルの実用性を総合的に評価し、低温環境下での適応性を検討した既往の温熱評価指標の内、比較的相関係数が高いものを3つ抽出すれば、WCI、新指標(WCI改良型)、TSIとなった。実用性も加味すれば、総合的には入力値が風速と気温のみで計算方法も簡便なWCIが有望であると考えられ、現在、北海道開発局で暫定的に適用を試みているWCIの有効性を支持する結果となった。
- ④ 防風施設の整備効果を貨幣価値として評価できるように、人体の主観的温熱感覚のみならず、温熱環境が作業能力へ及ぼす影響(寒さによる作業能力低下)に関する基礎的な実験を試みた。ペグボード試験、タッピング試験などの瞬発性を有する(Task A~C)の他、持続性を有する簡易的なモデル作業(ヒモ結び、Task D)を導入した。これらの作業形態の違いが作業効率へ及ぼす影響を調べた結果、これらのモデル作業のうち、Task Dである持続性を有する作業がもっとも作業効率の低下が大きいことが分かった。Task A~Cは、数十秒といったごく短い時間における作業能力、瞬発性の検査に近いものであるため、現実には間欠的に作業を行う場合と考えるべきである(休止を頻繁に挟む場合)。実際に問題となると考えられるWCIがおおよそ900程度までであれば、A~Cに大きな違いはな

いと考えられた。実際の漁港では、魚の箱詰めや網外しなどといった持続性を有する作業が多くを占めると考えられるので、現段階ではTask Dを参照しておくのが最も適切であると考えられる。最後にいくつかの作業形態(Task A~D)におけるWCIによる暴露時間をパラメータとした作業性低下の試算例を示した。

- ⑤ 網走港防風雪施設において被験者実験を実施した。現地実験で得られた結果を低温室内実験結果と比較した結果、同一な傾向が認められ、提案した評価手法の妥当性が確認された。

5. 2 港内防風雪施設設計評価マニュアルの作成

- ① 既存の防風雪施設に関するデータの収集と整理を行った。
- ② 技術者が活用し円滑に防風雪施設の設計を行えるように、港内防風雪施設設計評価マニュアル(案)を作成した。本マニュアルには、これまでの研究成果である、防風雪施設の減風効果の簡易予測手法、温熱指標(WCI)と温冷感の関係による温熱心理の推定、いくつかの作業形態における暴露時間をパラメータとしたWCIによる作業低下の試算例を掲載しており、防風効果や便益を定量的に求められるようにした。

5. 3 漁獲物に対する衛生管理機能の評価法提案

- ① 屋根の配置で日射を防止する効果として、魚体温及び床面温度の上昇を抑制すると同時に、魚箱の温度上昇を抑制する効果も確認できた。また、晴天時には屋根下では氷の使用量を1/2に減らすことが可能であり、曇天時においても氷の使用量を1割減らすことが可能と見込まれる。
- ② 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。
- ③ 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4~5h経過後の魚体温は気温の0.8倍で推定される。
- ④ 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 陸揚げ時の気温と出荷・流通過程における鮮度変化の標準化を行った。陸揚げ~出荷間の気温の違いが、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。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。

- ⑥ 屋根付岸壁の水産物の鮮度保持効果の評価項目について、以下のように得られた。
- ・陸揚げ時気温低減(または凍結防止)による流通・消費段階に至る鮮度保持効果
 - ・魚体への直接の日射防止による鮮度保持効果
 - ・床面への日射防止(輻射熱防止)による鮮度保持効果
 - ・魚体への雨防止による鮮度及び品質保持効果
 - ・氷減量削減による鮮度保持及び経費削減効果
 - ・清潔保持に関わるソフト対策への鮮度保持上のサポート効果
- ⑦ 屋根付岸壁の日射防止による鮮度保持効果の推定手法を提案した。日射量と魚体温等との相関を算定し、簡易な気象データ等を入手すれば魚体温等への換算が可能であり、その算定手順は以下の通り。
- ・屋根付岸壁を使用する時間を A と仮定
 - ・A における日射量の積算値を計算
 - ・屋根外と屋根下の魚体温差積算値を推定
 - ・魚体温差積算値を A 時間 (min) で除し、屋根外と屋根下の魚体温差 (℃) が得られる
 - ・屋根付岸壁がある場合と無い場合の魚体温度から流通段階での鮮度の差を推定する。
- ⑧ 屋根付岸壁が有する鮮度保持効果の貨幣化の手法として、1) 流通条件差、2) 製品仕向、3) 市場関係者等へのヒアリング・アンケート等が想定され、1)、2) について検討を行った。鮮度保持により、1 日程度の流通範囲拡大等の効果が得られると考えられ、貨幣化の試算としては、獲金額の 10% 程度が期待できるものと推定した。以上の成果は、これまで定性的な説明やアンケート結果を根拠とした説明が多かった屋根付岸壁の整備効果に対して、科学的アプローチを元にした定量的な効果の説明が加わることとなった。これにより、科学的な知見不足等によって水産物の衛生管理が進展していない地域において、具体的な効果(鮮度向上による流通拡大等)が示されることで、今後の計画策定や計画推進のための大きな材料になることが期待される。また、事業主体においては、本成果を活用することで対外説明や地元ヒアリング等で具体的な説明が可能となるため、事業

の円滑化も期待される。

参考文献

- 1) 木岡信治・渥美洋一・山本泰司・増田亮(2007)：冬期の漁港等における防風雪施設の機能評価を目的とした体感温実験と温熱指標の検討，海岸工学論文集，pp. 1311-1315
- 2) 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.
- 3) 国土交通省港湾局 (H16. 6)：港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル
- 4) 水産庁漁港漁場整備部(H21. 4)：水産基盤整備(漁港・漁場・漁村)事業の費用対効果分析について
- 5) 小玉茂義，小林圭，廣部俊夫：屋根付岸壁における水産物の鮮度保持についてその 1～現地調査～，日本水産工学会学術講演会論文集，pp. 195-196，2010.
- 6) 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についてその 2～室内実験～，日本水産工学会学術講演会論文集，pp. 197-198，2010.
- 7) ASHRAE (2001). ASHRAE HANDBOOK, Fundamentals, Chapter8, pp. 8. 6-8. 7, 2001
- 8) 花田嘉代子(1992)：着衣量、温冷感シンポジウム「温熱環境測定法」、空気調和・衛生工学会.
- 9) 平成 16 年度受託研究 港湾漁港等沿岸構造物整備に関わる工学的研究報告書、I -30-57.
- 10) (独) 北海道開発土木研究所 環境水工部 港湾研究室(2006)：防風雪施設の平均風速化簡易予測図集
- 11) 風工学会研究所：新・ビル風の知識，22p
- 12) 気象庁：予報用語、雨と風の表