

海上就労環境における身体的負荷の 評価に関する研究

STUDY ON EVALUATION OF PHYSICAL LOAD IN WORKING ENVIRONMENT AT SEA

片山義行¹・木本正治²・五明美智男³・近藤健雄⁴

Yoshiyuki KATAYAMA, Masaharu KIMOTO, Michio GOMYO and Takeo KONDO

¹正会員 株式会社エコプレックス (〒552-0001 大阪府大阪市港区波除4丁目1番37号)

²正会員 博(工) 株式会社エコプレックス(同上)

³フェロー 博(工) 東亜建設工業株式会社 技術研究開発センター
(〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1丁目3)

⁴正会員 工博 日本大学 理工学部海洋建築工学科
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7丁目24番地1号)

After back pain and lumber compressive force are introduced as indexes for physical load in working environment at sea, a new method is proposed to evaluate them during ship motion. It is applied to fishermen working on a purse seine. In the case of considering acceleration of ship motion, the lumber compressive force is larger than that ignoring acceleration, and it was found that the workers over 60 years old are continually exposed to the compressive force over the threshold limit values, 2300N, indicated by Jager et. al.

Key Words : *Ship Motion, working environment, back pain, lumber compressive force*

1. はじめに

漁業, 海運, 海洋調査・海上工事における船舶上の作業は, 機械化ならびに大型船や船団などの導入により効率化・省力化が進む一方で, いまだに人の手によるものや小型船・小型漁船を利用するものが少なくない。こうした小型船舶は海象の影響を大きく受けるとともに, 少人数での作業形態を取ることがほとんどである。動揺するという特殊な労働環境での作業は, 例えば漁民に対するアンケート調査結果などに見られるように, 身体的な負担あるいはつらさを増大させるものとなっているものの¹⁾, その定量的な評価や対策についての検討例はほとんどない。安全対策が進んでいる海上工事等においても, 作業工程と作業内容, 使用機械などの確認・点検さらには就業者の健康管理などを通じて労働災害防止に努めているものの, 作業者の日常の身体的負担については把握されていないのが現状である。

こうした背景から, 本研究では, 身体的負荷の改善策を検討するために, 海上の就労環境における身

体的負荷の把握とその定量的な評価を試みる。身体的な負荷としては腰痛を指標とし, 腰部への負荷に対する船体動揺の影響を腰部椎間板圧迫力によって評価しようとするものである。

なお, ここでは, 多様な海上作業の中から, 経済的には全漁業の50%前後(生産量286万t, 生産額1.1兆円)でありながら, 経営構造として全体の90%前後(25万人の就業者数, 14万の経営体数)を占めている沿岸漁業²⁾を選定している。さらに, 具体的な調査対象として, 沿岸漁業の抱える問題点や課題を網羅的に有し, 多様な漁業者特性および就労環境を特徴とする大阪湾の漁船漁業を取り上げることとする。

2. 漁業就労における身体的負荷の考え方

身体的負荷の捉え方として, 漁業者の意識や要求などにもとづく評価と身体に対する負荷を何らかの計測手段あるいは推定法等を用いて評価する方法とに大別することができる。

2.1 アンケート調査による身体的負荷の把握

著者らは、漁業就労環境全般に係わる漁業者のニーズの把握と現状の評価のために、大阪湾において2つのアンケート調査を実施している³⁾。ここでは漁業者の意識や要求に係わる項目を抽出して漁業者の心理面からの負荷の特性について検討する。第1の調査では、大阪湾の主要5漁法（巾着網漁業、底引き網漁業、船引き網漁業、刺し網漁業、アナゴ籠漁業）について、大阪湾内に散在する第1種、第2種漁港の計20漁港に所属する漁業協同組合の組合員を対象とし、平成11年8月と平成12年9月に実施した。合計配布数は930通、有効回答数は326通であり、身体的負荷に係わる項目として漁業作業上の身体的・精神的苦痛について回答を得ている。また、第2の調査では、きつく危険であるといわれる漁業就労環境の実態や問題点を明らかにするために、平成11年6～8月、平成12年の8月に乗船調査による作業工程分析の後、巾着網漁業と底引き網漁業を対象に実施している。合計配布数は420通、有効回答数は86通であり、安全性およびきつさの改善要求に関する回答が得られている。

表-1は、第1の調査より、全年齢における漁業への愛着度、就業要求、過去1年間におけるケガの有無および後継者不足の要因とされている新規参入の低迷理由を整理したものである。これより、漁業への愛着度が高く、60%の人が働けるまで続けたいと思っている反面、きつさや危険、漁業労働のイメージによって新規参入が低迷していると回答している人が50%を超えている。実際、過去1年間に何らかのケガを経験した人は90%を超えており、後継者問題のみならず漁業者の意欲に応える意味でも、危険およびきつさの解消が重要な課題となっている。

また、第2の調査では、乗船調査によって2漁法における作業工程図を作成し、それぞれの工程ごとにきつい作業、危険な作業に関する5段階の回答を得ている。その結果、3.で詳述する巾着網漁業について図-1に示すような作業工程図を得るとともに、危険な作業として「投網中のロープによる2隻の漁船同士の接舷、離舷」、「機械によるワイヤー巻き」、「サイドローラーなどの揚網機械への綱や網の巻き込み」、「水揚げ時の母船への運搬船の横付

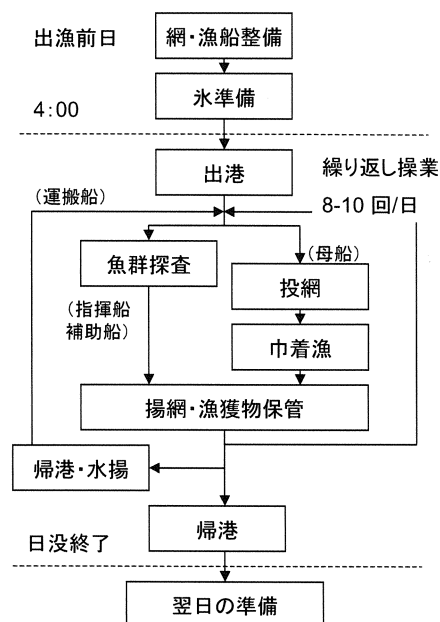


図-1 巾着網漁業の概略作業工程

け」などが、また、きつい作業として「サイドローラーなどによる揚網」、陸揚げ時の「漁獲物の仕分け」、「漁獲物の保存と出荷準備」などが特定されている。これらの作業やその他作業（漁船上での漁網交換、修理、運搬船への漁獲物の積み込みなど）いずれにおいても、不安定な場所での中腰、前かがみ、からだをねじるといった姿勢を取る頻度が高く、さらには重量物を持つあるいは綱やロープをたぐったりするなど、腰痛を招く作業条件が多く存在している。漁業者における長期的な腰痛の実態やその予防策、高速船における衝撃による腰痛発生などの研究成果⁴⁾も報告されていることを考慮すれば、漁船上の身体的負荷を腰痛の発生から把握することが可能と考えられる。そこで、漁業就労さらには海上就労の身体的負荷の1つの指標として腰痛をとりあげることとする。

なお、穴井ら（2003）は、漁船に比べより多様な身体的能力を有する漁業者が働く漁港での陸上作業を対象として、4つの漁法の作業姿勢分析とその評価を行っている⁵⁾。姿勢分析の一手法として幅広い分野で用いられているOWAS法⁶⁾を適用した結果、すべての漁法においてやはり腰および下肢に負担がかかることを明らかにし、荷物移動時の重量、岸壁と漁船の高低差と距離をその原因として推定している。

2.2 身体的負荷としての腰痛とその評価

（1）腰痛の定義⁷⁾

部位により形が異なる脊柱はそれぞれ特徴的な働きを示し、中でも腰椎は2つの大きな機能を有している。第1に、椎骨の中で最も大きな椎体を持ち後方の突起も発達することによって、上半身の体重を支える上であるいは様々な運動を行う上で、背骨の

表-1 第1回アンケート調査結果の抜粋

漁業への愛着度		就業欲求		過去1年のケガ		新規参入の低迷理由	
とても好き	25.1	50歳までに	1.7	ある	92.3	労働のきつさ	12.5
やや好き	42.0	50～65歳で	19.9	ない	5.2	労働の危険さ	16.4
どちらでもない	23.4	65～75歳で	10.0			労働のイメージ	15.3
やや嫌い	5.6	働けるまで	60.6			漁業年収	18.6
とても嫌い	1.7	今すぐ	5.2			漁業年収の変動	21.3
						労働日数	2.8
						労働時間	8.0
無回答	2.2	無回答	2.6	無回答	2.5	資格などの障壁	5.1

安定を保つために大きな役割をはたしている。また、腰椎の脊柱管は、頸椎、胸椎とともに脳より下降してくる脊髄神経を入れて保護している。そのため、何らかの要因で後述する安定性に支障が生じた場合には、神経保護の機能が低下して、腰痛あるいは神経痛といった症状を生じる。このように腰痛は、痛みを生じる前段階の要因（先天性、成長性、加齢、外傷、炎症、腫瘍などが原因となるもの）が、ストレスの積み重ねや疲労・炎症・軽微の外傷・冷えなどを契機に刺激されることによって生じる。さらに、腰痛には、初期あるいは急性のもの、症状の悪化・悪循環あるいは慢性化したものがあり、就労環境ではこうした型の腰痛が混在して現れる。

（２）脊柱の機能と安定性限界^{8),9)}

脊柱の前方部分にある椎体は、側断面はほぼ四角、高さの低いほぼ楕円形の骨の塊となっており、腰にかかる負荷を最も多く受ける。椎体は、腰の安定性の基本となる部分であり、骨盤、仙骨の上に腰椎、胸椎、頸椎の 24 個の椎骨を積み重ね、さらに頭蓋骨を乗せ、複雑な形状の積み木を重ねたような状態にある。脊柱は、椎間板や椎間関節が存在し周辺の靱帯や種々の突起などが存在することで、高い運動制御機能と安定性を有している。

脊柱についている筋肉を取り除き、椎骨および椎間板、間接、靱帯をそのままの状態で取り出した場合、脊柱は正常の彎曲を保ったまま自立する。すなわち、周囲の筋肉が無くても脊柱は安定を保つことができる。Lucas and Breslew (1961) の実験によれば、この状態に脊柱上部から載荷した場合、質量 2 kg で彎曲にゆがみが生じることが報告されている。実際は体重さらには作業に伴う荷重など、かなりの負荷を許容するが、その理由は、脊柱周囲の多方向についている筋肉が脊柱のゆがみを抑えていることによる。

その一方で、椎骨そのものの耐荷限界も存在する。椎間板をはさむ上下の椎体のみを取り出して同様の載荷実験を行った場合、椎間板が弾性的な変形によって一時的にゆがむのに対し、硬い椎体は先につぶれ骨折を起こす。Nachemson (1962) によれば、この椎体骨折を起こす外力は、老人で 150kg (1470N)、若者で 800kg (7840N) 程度と報告されている。

（３）海上就労時の腰椎負荷の推定法

腰椎への負荷の大きさと上述したような限界値との大小関係を比較することで、腰痛発生のリスクを評価することが可能となる。腰椎にかかる負荷は、実際に椎間板に圧力計を接続した針を刺して計測することができるが、力学的な釣り合いによって理論的に推定することも可能である。こうした考え方は運動学（キネシオロジー）¹⁰⁾あるいはバイオメカニクスを考慮した整形外科分野¹¹⁾で取り組まれてきており、本研究で用いる腰部椎間板圧迫力推定法¹²⁾もその応用の一手法である。

腰部椎間板圧迫力推定法とは、腰痛の原因となる椎間板への直接的な物理ストレスである腰部椎間板圧迫力を作業姿勢、取り扱い重量、筋力などの釣り合いから推定する方法であり、従来は足場等が静止し人体および取り扱い物に重力加速度のみが作用するモデルとして利用されてきている。本研究では、下記に示すように 2 次元静的モデルの加速度項に漁船上の作業位置における船体動揺に伴う加速度を付加することで、海上における推定法へと拡張する。なお、船体動揺に伴う加速度については、鉛直方向の加速度のみを考慮する。

最初に、L5/S1（L5、S1はそれぞれ腰椎の 5 番目、仙椎の 1 番目を表し、L5/S1とはその間の関節部を表す）を釣り合い点と考え、これより上位の体重 U_W を(1)式、L5/S1から U_W の重心までの水平距離を(2)式により算出する。

$$U_W = 0.475 B_W \quad (1)$$

$$B = 0.17 H_T \sin(T) \quad (2)$$

ここに、 U_W : L5/S1より上位の体重、 B_W : 作業者の体重、 T : 体幹前傾角、 B : L5/S1から U_W の重心までの水平距離、 H_T : 作業者の身長である。

次に、腰部椎間板圧迫力の算出に必要な L5/S1 まわりの体重と取扱い物によるモーメント、腹直筋による力、腹圧、脊柱起立筋による力、L5/S1の関節面の傾斜角を算出する。L5/S1まわりの体重と取扱い物によるモーメントは(3)式で、腹直筋による力は(4)式、腹直筋のモーメントアームは 0.071m で与えられる。

$$M_{L5/S1} = U_W (g + a) B + L_W (g + a) L_x \cos L_R + L_W (g + a) L_r \sin(L_R) \quad (3)$$

$$F_{AB} = - \frac{M_{L5/S1}}{E_{AB}} \quad (4)$$

ここに、 $M_{L5/S1}$: L5/S1まわりの体重と取扱い物によるモーメント、 g : 重力加速度、 9.8m/s^2 、 a : 船体動揺による加速度、 L_R : 物に与える力の向き、 L_x : 力の作用点と L5/S1 との水平距離、 L_W : 取扱い物の重量、 L_Y : 力の作用点と L5/S1 との垂直距離、また、 F_{AB} : 腹直筋による力、 E_{AB} : 腹直筋のモーメントアームである。

さらに、腹圧は Fisher の推定式と横隔膜面積が 0.0465m^2 であることから(5)式で、腹圧による L5/S1まわりのモーメントアームは、Morris らの推定式より(6)式のようになる。

$$F_A = 0.00006324 \{42.64 - 0.3564(180 - R_H)\} \times M_{L5/S1}^{1.8} (g + a) \quad (5)$$

$$D = 0.067 + 0.082 \sin(180 - R_H) \quad (6)$$

ここに、 F_A : 腹圧、 R_H : 腰屈曲角、 D : 腹圧による L5/S1まわりのモーメントアームである。

以上より、脊柱起立筋による力は(7)式で求めら

れる。

$$F_M = \frac{M_{L5/S1} - F_{AD}}{E} \quad (7)$$

ここに、 F_M ：脊柱起立筋による力、 E ：脊柱起立筋のモーメントアーム（0.05m）である。L5/S1の関節面の傾斜角を考慮し、これをAndersonらの推定式より(8)式で与えることとする。

$$R_A = -17.519 - 0.11863T + 0.22687K + 0.0011904TK + 0.00499T^2 - 0.000753K^2 + 40 \quad (8)$$

ここに、 R_A ：L5/S1の関節面の傾斜角、 T ：体幹前傾角、 K ：腰屈曲角である。

以上の(1)～(8)式を用いることにより、L5/S1での腰部椎間板圧迫力 F_C は、最終的に(9)式で求められることになる。ただし、 $M_{L5/S1} < 0$ の場合には、 F_M のかわりに F_{AB} を用いるものとする。

$$F_C = U_w(g+a)\cos(R_A) + L_w(g+a)\cos(R_A+L_R) - F_A + F_M \quad (9)$$

3. 現地調査による身体的負荷の評価

3. 1 調査内容

2. において作業工程と危険およびきつい作業を特定した巾着網漁業（写真-1）を対象に、2004年10月7日に動揺および腰部椎間板圧迫力の調査を行った。2艘引きの網船の1隻において、3軸動揺計（CMS25型ロール・ピッチ・ヒープセンサー、東陽テクニカ製）を網船の船橋上に設置し（図-3）、ヒーピング（変位）、ピッチング・ローリング（角度）を測定した。表-2の当日調査タイムテーブルに示した全8回の作業のうち、出港から7回目までの計測を行った。また、腰部椎間板圧迫力推定法により、腰部への負担を算定するために、表-3に示す4人の船上作業員（No.1～No.4）の作業姿勢を動揺計測と同時にVTR撮影した。記録した画像は1秒間隔で静止画像として解析に供した。

なお、当日の海象は、操業域の南方に位置する沖ノ島で有義波高0.23～0.32mと極めて静穏であった。

3. 2 合成変位および加速度の推定

動揺計測の位置がほぼ重心上にあるものと仮定し、図-4に示す座標系によって得られた時系列データを船板上の各位置（x,y）での合成変位時系列に変換するとともに、2回微分によって合成加速度を算定した。

表-4は、投網1回目の変位時系列の波別解析結果であり、揚網を右舷側で行っていること、船橋が船首側に偏っていることを考慮して、右舷側（y=-2m）・船首尾方向4地点（x=6,0,-6,-12m）での計算値を示したものである。最大で当日の有義波高と

同程度の変位を示し、船首右舷側で最大値0.89mとなっている。

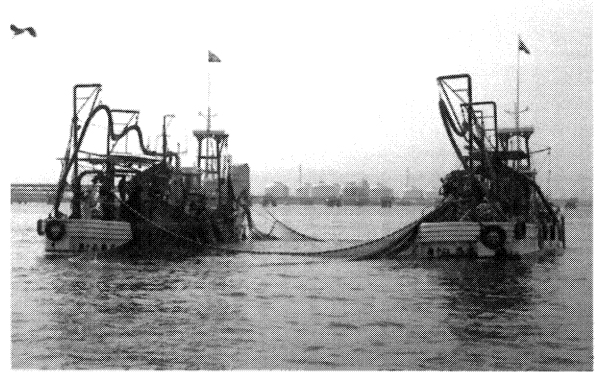


写真-1 巾着網の操業状況

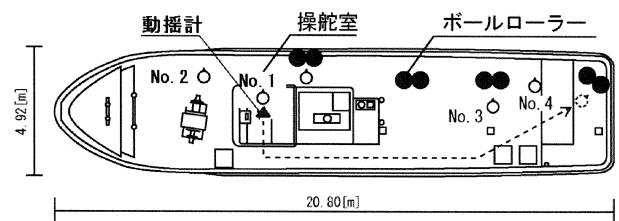


図-3 動揺計設置位置および作業員配置

表-2 調査当日のタイムテーブル

04:30	出港
05:57～06:35	投網1回目
06:44～07:22	投網2回目
08:33～09:15	投網3回目
09:20～10:06	投網4回目
10:21～11:01	投網5回目
11:13～11:48	投網6回目
12:11～12:50	投網7回目
13:07～13:41	投網8回目
15:15	帰港

表-3 作業員の属性

作業員	年齢（歳）	作業
No.1	68	船長
No.2	55	オモテ作業
No.3	46	ボール作業
No.4	65	トモ作業

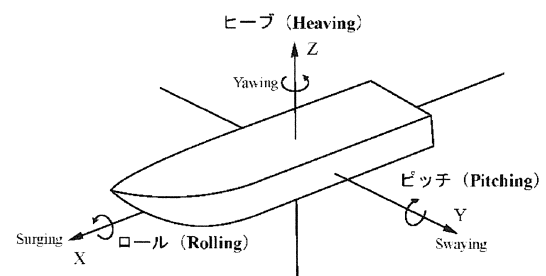


図-4 動揺計測の座標系

表-4 投網1回目の合成変位の波別解析結果

座標 (x,y)	最大値		1/3有義値		平均値	
	z (m)	T(s)	z (m)	T(s)	z (m)	T(s)
(6,-2)	0.89	3.7	0.43	4.1	0.28	3.9
(0,-2)	0.64	3.5	0.33	4.1	0.21	4.0
(-6,-2)	0.55	3.9	0.31	4.2	0.20	4.0
(-12,-2)	0.70	3.6	0.39	4.1	0.26	3.9

表-5 加速度の算定値

座標 (x,y)	鉛直下向き最大加速度 (m/s ²)	
	測定値範囲	日平均値
(6,-2)	0.97~1.67 (0.10~0.17g)	1.26 (0.13g)
(0,-2)	0.59~1.16 (0.06~0.12g)	0.89 (0.09g)
(-6,-2)	0.53~1.02 (0.05~0.10g)	0.77 (0.08g)
(-12,-2)	0.72~1.67 (0.07~0.17g)	1.08 (0.11g)

また、表-5は、合成変位から計算した鉛直下向き合成加速度の最大値を投網毎に求め、その分布範囲と最大値の日平均値を示したものである。変位の大きさに対応し、船首および船尾での加速度が大きくなっており、非常に静穏な日でも漁船の動揺によって0.05~0.17g (g:重力加速度)程度の加速度が生じていることがわかる。

3. 3 腰部椎間板圧迫力の推定

(1) 圧迫力に及ぼす加速度の影響

推定の際の諸条件として、揚網作業を中心に手秤によって取り扱い物の重量を測定したところ、78.4~98.0N (8~10kg) となったことから、一律10kgのものを扱うものとした。また、計算に用いる姿勢パラメータは、各作業者の400~450の姿勢静止画から各数値を読み取って計算に用いた。

最初に、2.2で示した推定法における船体動揺に伴う加速度をゼロとして、腰部椎間板圧迫力(以下、圧迫力)を推定した。表-6の1)は各作業者の圧迫力が最大となる時刻とその値を、また写真-2はその時の作業姿勢を示したものである。いずれの作業者も深い前傾姿勢を取っており、圧迫力は2500~2800N程度となっている。なお、No.1作業者に関しては、揚網時および運送船へのポンプ圧送の際には、船尾で作業をしている。

次に、圧迫力が最大となる時刻を中心に前後約1秒間の下向き加速度の最大値を考慮した場合、いずれの作業者においても圧迫力は増大し2~4%の増加率となっている。また、圧迫力を増大させる姿勢と動揺による加速度は必ずしも同時に発生するわけではないが、表-5に示した操業毎の加速度最大値の日平均を用いた場合には、さらに7~12%の範囲、平均で10%まで圧迫力が増大する。

(2) 圧迫力の評価と限界圧迫力

2. では、与えられた負荷>組織の強度、すなわち組織の損傷・障害の負荷の一例として150~800kgの数字を例示した。現在、指標となるような

表-6 腰部椎間板圧迫力の最大値の推定結果

	No.1	No.2	No.3	No.4
1) 加速度をゼロとした場合				
時刻	10:00:15	6:16:23	7:08:39	6:23:00
圧迫力	2786	2771	2825	2515
2) 同時刻の加速度を考慮した場合				
加速度	0.23	0.52	0.27	0.26
圧迫力	2846	2894	2895	2574
3) 表-5の最大加速度の日平均値を考慮した場合				
圧迫力	3113	2980	3023	2754

単位: 加速度 (m/s²) , 圧迫力 (N)

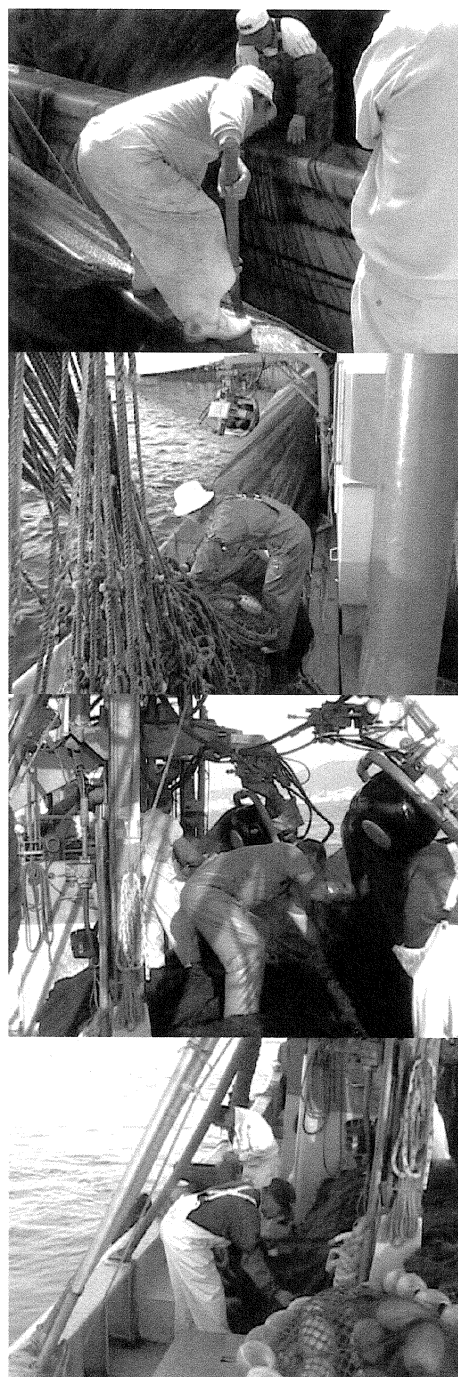


写真-2 腰部椎間板圧迫力が最大となる各作業者の姿勢(上からNo.1, No.2, No.3, No.4)

一般的な許容限界値としては、Jager et.al. (2001)¹²⁾が示したように、年齢・性別によって異なる数値が報告され利用されている(図-5)。この図に上記の推定結果を重ねてみた場合、船長業務以外の作業をしている時の68歳の作業者No.1、65歳の作業者No.4の2名は、明らかに限界負荷を超えるような圧迫力を受けている。一方、55歳の作業者No.2は限界負荷付近の圧迫力を受けていたこと、46歳の作業者No.3は操業中に限界値以下の圧迫力状態だったことが明らかである。

また、今回調査した巾着網漁業の場合には、どの作業位置でも同程度の圧迫力を受けていたことから、腰痛に対して配慮すべき年齢として50歳を1つの目安と考えることができる。しかしながら、非常に海象の良い条件での結果であることを考慮すれば、通行船舶の航跡波や天候の急変時などには、40代後半でも限界値に近い圧迫力を受ける可能性も指摘される。

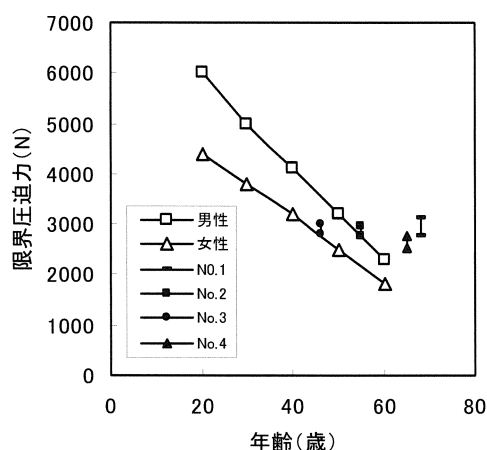


図-5 性別・年齢別の椎間板圧迫力の許容限界値

(3) 作業別の椎間板圧迫力の比較

今回の調査に先だち船引き網漁船において、腰部椎間板圧迫力の測定のみ実施し、作業別の比較を行っている¹⁴⁾。図-5に示したように、60歳男性の許容限界値2300Nを基準としてこれを超える姿勢の発生頻度を示したものが表-7である。船の動揺の影響を含まないことから、今回得られたように波浪による圧迫力の増加を考慮すれば、特に高齢者の船上での漁獲物移送作業等は腰痛を発生させる確率が大変高い作業となることが理解される。

4. おわりに

従来、静的な条件で利用されている腰部椎間板圧迫力推定法に船体動揺の加速度の影響を取り込むことによって、実際の漁船上の作業者が受ける身体的負荷を評価した。ひねりなどを含まない2次元の推定法であり、また許容限界値の妥当性など今後の課題も残されているが、動揺する船上では腰部椎間板

表-7 許容値以上の圧迫力となる姿勢の発生頻度

船引き網漁業の作業名	分析姿勢数	許容値以上の姿勢数	発生頻度(%)
漁獲物の引上げ作業	26	16	61.5
網直し作業	29	2	6.9
仕分け・保管作業	50	32	64.0
漁獲物を運搬船へ移す作業	72	61	84.3

圧迫力が増大すること、また高齢化する沿岸漁業の就業者にとって腰痛発生リスクが高いことを明らかにした。

謝辞：本研究の実施にあたり、穴井美緒、加藤信崇両氏（前日本大学学生）の協力をいただいた。また、アンケート調査ならびに乗船調査では大阪府漁業組合連合会の協力をいただいた。あわせて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 木本正治：大阪湾における漁業就労環境の現状分析とその改善に関する基礎的研究，日本大学理工学部学位請求論文，2006。
- 2) 水産基本政策研究会：早わかり水産基本法Q&A，地球社，p.91，2001。
- 3) 同1)。
- 4) 神田寛・村山義夫：海で働く人の健康と体力づくり，成山堂書店，p.187，1997。
- 5) 穴井美緒・朴賢哲・佐伯公康・明田定満・近藤健雄・高木伸雄：漁港における漁業就労環境の基礎的研究，日本沿岸域学会論文集，No.15，pp.113-120，2003。
- 6) OWAS：Ovako式作業分析システム，<http://homepage2.nifty.com/aseo/index.htm>
- 7) 川上俊文：図解腰痛学級－日常生活における自己管理のすすめ，医学書院，p.280，2004。
- 8) 同7)。
- 9) Stuart McGill，吉澤英造・大谷オー・才藤栄一訳：腰痛－最新のエビデンスに基づく予防とリハビリテーション，ナッパ，p.271，2005。
- 10) David P. Greene, Susan L. Robelts, 嶋田智明訳：キネシオロジー－日常生活活動の運動学，医歯薬出版，p.243，2002。
- 11) 島津晃・浅田莞爾：バイオメカニクスよりみた整形外科，金原出版，p.502，1993。
- 12) 腰部負荷評価のための腰部椎間板圧迫力推定法，<http://homepage2.nifty.com/aseo/index.html>
- 13) NOHSC：Issues associated with force and weight limits and associated threshold limit values in the physical handling work environment，p.48,2003。
- 14) 同1)。