

200401116A

高気圧作業に伴う標準減圧表の安全性評価のための疫学的調査に関する研究

公募課題番号：H16-労働-9

平成16～18年度 厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合 研究事業

平成16年度 総括・分担研究報告書

平成17年3月

主任研究者 眞野喜洋（東京医科歯科大学大学院 教授）

分担研究者 山見信夫（東京医科歯科大学大学院 助教授）

芝山正治（駒沢女子大学人文学部 教授）

目次

第1章 平成16年度 総括・分担研究報告	1
高気圧作業に伴う標準減圧表の安全性評価のための疫学的調査に関する研究	
第2章 形成気泡数からみた我が国の標準減圧表評価	29
第3章 減圧症	34
第4章 減圧症、プライマリーケアの実際	41
第5章 減圧障害の発生とダイビングプロフィール	44
潜水後の高所箇所とその危険性	
第6章 減圧治療の問題点	50
潜水障害（潜水事故）事例からみた安全潜水への提言	
第7章 過去の研究成果	
Ⅰ. 耳の傷害と副鼻腔の障害の発生頻度調査研究	54
レジャーダイバーの耳と副鼻腔は大丈夫？	
－大瀬崎でのアンケート調査から－	
Ⅱ. 減圧症の発生頻度	59
Incidence of decompression sickness (DCS) in sports divers	
スポーツダイバーの減圧症（潜水障害）の発生頻度について	
Ⅲ. レジャーダイバーの減圧症発生を総合的に評価研究	68
レジャーダイバーの減圧症発生率を考える	

第1章 平成16年度 総括・分担研究報告

労働安全衛生総合 研究事業

高気圧作業に伴う標準減圧表の安全性評価のための
疫学的調査に関する研究

主任研究者 眞野喜洋（東京医科歯科大学大学院 教授）

研究要旨

厚労省で規定している標準減圧表別表第1(圧気土木作業用)、別表第2(潜水作業用)は法律として施行されて40年以上経過している。その間に高気圧環境からの大気圧力環境への復帰減圧の為に減圧表には著しい改良が計られており、諸外国では大幅な減圧表の改良ならびに安全な作業を行う上での技術的改革がなされている。そこで、現行の我が国の標準減圧表の何処に問題点があり、その解決を計るにはどのような改善を計るべきかについて検討する研究である。

分担研究者 山見信夫（東京医科歯科大学大学院 助教授）

芝山正治（駒沢女子大学人文学部 教授）

A. 研究目的

我が国の標準減圧表別表第 1（圧気土木用、表 1）および別表第 2（潜水業務用、表 2）は昭和 36 年（'61）に制定されて以来、全く改定されず今日でも利用するように指導されている。この減圧表が制定されてから既に 40 年以上経過し、今日の国際的な評価を受けている減圧理論は大幅な変遷を経て、より安全な高気圧作業従事者の健康に留意された、減圧表に改定されているばかりか、使用されている呼吸ガスも空気だけでなく、圧力増大に見合うヘリウム等の不活性ガスの利用や減圧中の酸素吸入による窒素ガス等の洗い出しなどの新技法が取り入れられている。このようなギャップが拡大する一方であることを考えると我が国の高気圧業務の安全管理対策上、現行の標準減圧表がどのような問題を抱えているかを明らかにすることが重要となってくる。そして減圧表の改定の必要性が論じられる場合が生じたならば、その改定すべきポイントにはどのような点が挙げられるべきかを予測することが本研究の目的である。

表 1-1 標準減圧表の別表第 1

別表第 1 （第 15 条・第 18 条）

圧 力 (kg/cm ²)	高 圧 干 の 時 間	減 圧 (分)					体内ガス 圧 係 数	業務開始 後ガス圧 時間(分)	業務終了 後ガス圧 減少時間 (分)	第 2 回の 減圧下の 時間(分)
		1.5 kg/cm ²	1.2 kg/cm ²	0.9 kg/cm ²	0.6 kg/cm ²	0.3 kg/cm ²				
1.0 をこえ 1.2 以下	30 分をこえ 60 分をこえ						1 1 1	1.2 1.4 1.5	30 30 30	335 305 285
	90 分をこえ 120 分をこえ 150 分をこえ						1 2 3	1.6 1.7 1.8	30 60 60	265 270 250
	180 分をこえ 210 分をこえ 240 分をこえ						4 5 5	1.9 1.9 2.0	60 60 150	200 230 185
	270 分をこえ 300 分をこえ 330 分をこえ						6 6 7	2.0 2.0 2.1	150 150 150	105 75 45
	30 分以下 60 分以下 90 分以下						1 1 1	1.3 1.5 1.6	30 30 30	295 270 255
	120 分以下 150 分以下 180 分以下 210 分以下						3 5 6 8	1.7 1.8 1.9 2.0	60 60 60 60	255 240 215 210
	240 分以下 270 分以下 300 分以下 330 分以下						10 10 10 12	2.0 2.1 2.1 2.2	60 150 150 150	30 45 45 70
	15 分をこえ 30 分をこえ 45 分をこえ 60 分をこえ 75 分をこえ 90 分をこえ 105 分をこえ 120 分をこえ						2 25 35 45 55 65 70 70	1.4 1.7 1.8 2.0 2.0 2.1 2.2 2.2	60 90 90 120 120 150 150 150	120 105 90 75 60 45 30 15 0
	15 分以下 30 分以下 45 分以下 75 分以下 90 分以下 105 分以下 120 分以下 135 分以下								30 45 45 60 60 60 60 60	
	15 分をこえ 30 分をこえ 45 分をこえ 60 分をこえ 75 分をこえ 90 分をこえ 105 分をこえ 120 分をこえ									
	15 分以下 30 分以下 45 分以下 75 分以下 90 分以下 105 分以下 120 分以下 135 分以下									

圧力範囲は、1MPa ～ 4MPa（ゲージ圧力 1.0kg/m² ～ 4kg/m²）

表 1-2 標準減圧表の別表第 2

別表第 2

圧 力 (MPa)	潜水深度 (m)	高 圧 下 の 時 間	減 圧 (分)								体内ガス 圧 係 数	業務開始 後ガス圧 減少時間 (分)	業務終了 後ガス圧 減少時間 (分)	一日につ いての高 圧下の時 間 (分)	
			0.24 MPa	0.21 MPa	0.18 MPa	0.15 MPa	0.12 MPa	0.09 MPa	0.06 MPa	0.03 MPa					
			浮 上 (分)												
		潜 水 時 間	24 m	21 m	18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m					
0.10 を超え 0.12 以下	10を超え 12以下	10分以下									1.1	30	30	180	
		10分を超え 30分以下									1.2	30	30		
		30分を超え 60分以下									1.4	30	30		
		60分を超え 90分以下									1.5	30	30		
		90分を超え 120分以下									1.6	30	30		
		120分を超え 180分以下								3	1.8	60	30		
		180分を超え 240分以下								5	1.9	60	30		
		240分を超え 360分以下								7	2.1	150	60		
0.12 を超え 0.14 以下	12を超え 14以下	10分以下									1.1	30	30	420	
		10分を超え 30分以下									1.3	30	30		
		30分を超え 60分以下									1.5	30	30		
		60分を超え 90分以下									1.6	30	30		
		90分を超え 120分以下								4	1.7	60	30		
		120分を超え 150分以下								6	1.8	60	30		
		150分を超え 180分以下								7	1.9	60	30		
		180分を超え 210分以下								9	2.0	60	30		
		210分を超え 240分以下								10	2.0	150	60		
		240分を超え 300分以下								12	2.1	150	60		
0.78 を超え 0.88 以下	80を超え 90以下	5分以下									1.5	60	30	40	
		5分を超え 10分以下								20	35	1.7	90		45
		10分を超え 15分以下							14	28	35	1.8	90		45
		15分を超え 20分以下				13	24	28	44	51		1.9	90		45
		20分を超え 30分以下		6	18	20	24	29	65	100		1.8	150		60
		30分を超え 40分以下	12	16	18	20	24	49	90	105		1.8	150		60

圧力範囲は、10～90m まで

別表第 3

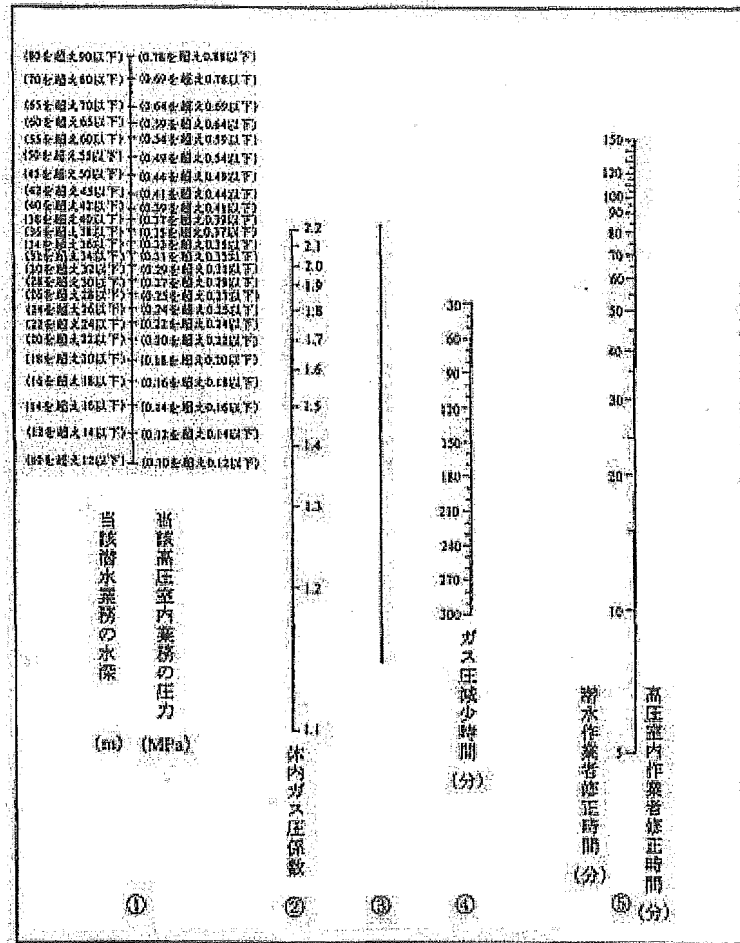


図 1-1 繰り返し潜水で使われる修正表(別表第 3)

B. 研究方法

方法 1:

我が国の標準減圧表別表第 1 ならびに第 2 について諸外国の代表的な減圧表と比較して、その安全性の検討を行う。単に同じ圧力へ同じ時間滞在した時の総減圧時間の長短で安全性は論じられず、それぞれの条件でどれだけ気泡が形成されたか、つまり過飽和負荷レベルの比較が必要で、これについては当該研究室で開発した気泡計測法(写真1、2)によって異なる減圧表の比較の上から我が国の標準減圧表を分析する。

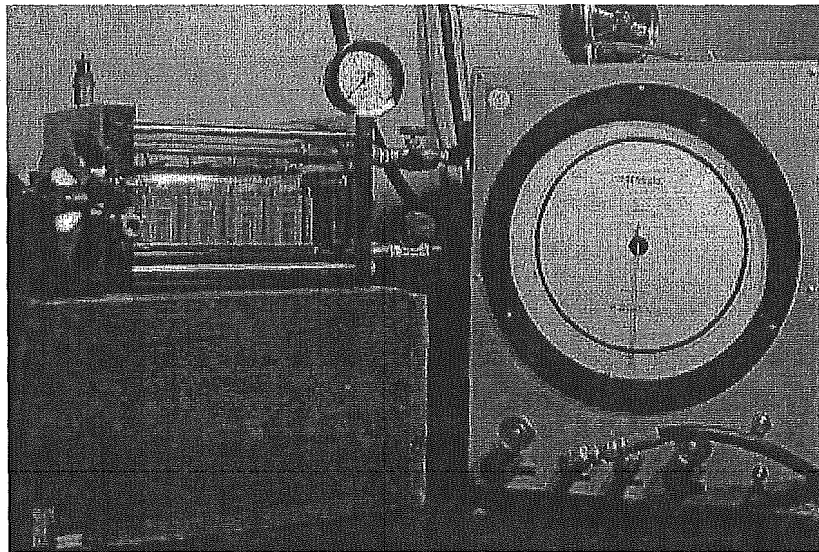


写真 1-1 気泡計測法で用いられるチェンバーと圧力計

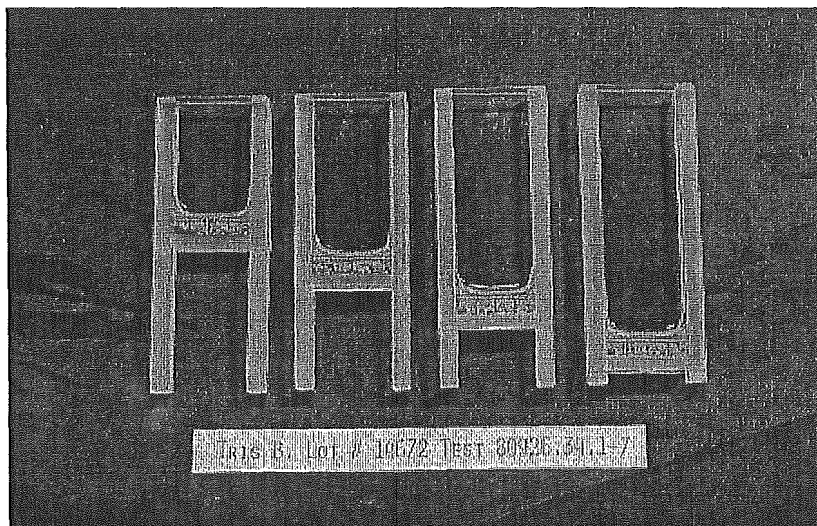


写真 1-2 実験によってゲル中に発生した気泡

方法 2:

圧気作業および潜水作業場における疫学的調査を行い、減圧症発症率を求めると共に実作業をダイビング・コンピューターを用いて追跡記録し、圧力暴露とその後の減圧プロフィールの生データ(図2)を収集する。

(倫理面への配慮)

各作業現場へは事前に訪ねて、安全ならびに健康教育の講習と説明を行い、十分なインフォームド・コンセントを得て同意を得た上で資料収集に協力戴くが、生データの記録されるダイビング・コンピューターはあらかじめ当方で用意されたブラック・ボックスで処理し、資料提供者の氏名等は特定できないような配慮をする。また知り得たデータは全ての資料をランダムに入力し、その結果から特定の企業ならびに氏名の解読は行えないようにする。

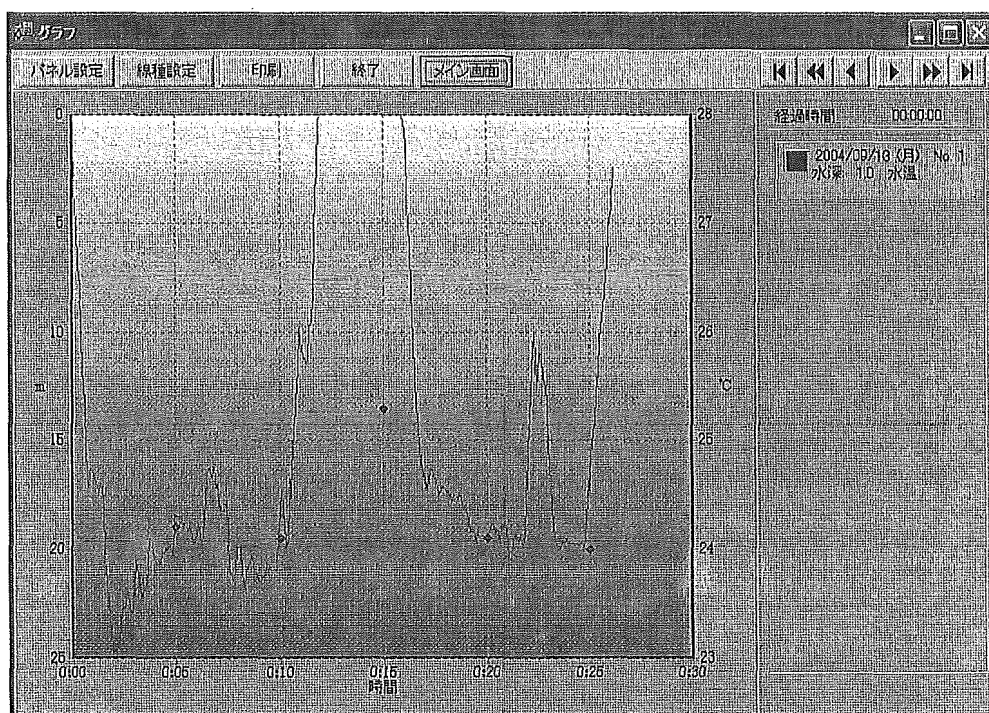


図 1-2 漁業潜水者の潜水プロフィールを記録した生データの一例

方法 3:

文献検索によって資料の充足を行う。

C. 研究結果

気泡計測法による我が国の標準減圧表(図 3)を評価したが、別表第 1 の圧気土木用減圧表は気泡を多く発生していた。気泡数が少なかったのは、英国のブラックプール表であり、次いで米国のワシントン表であった(図 4)。我が国の別表第 1 は最も多く気泡をつくるばかりか同一圧力下における作業時間の増大に比例して形成される気泡数の割合、つまり増加勾配が最も急峻であった。このことは我が国の標準減圧表は英国の減圧表と比較して気泡形成が最も多いことを意味している。

また、方法 2 のデータ収集と併せて行われた各圧気作業所における形成気泡数と減圧症発症率の間には $y(\text{減圧症発症率}) = 0.084X(\text{気泡数}) - 0.276$ 相関係数 $r = 0.939$ で示される回帰直線式で示されるように正の相関があることが証明された(図 5)。

文献検索によるチェックから、気泡形成数の多い日本の標準減圧表、米国海軍表、フランス海軍表等はいわゆる Haldane 理論に基づく肺における窒素ガスの perfusion theory に基づいており、形成気泡数の少ない英国表、カナダやスイスの減圧表は組織ガス核レベルの diffusion theory に基づいていて、減圧表作成の根本的な考え方の相違があること、近年ではこの diffusion theory をベースとした考え方が主流であることが明らかとなった。

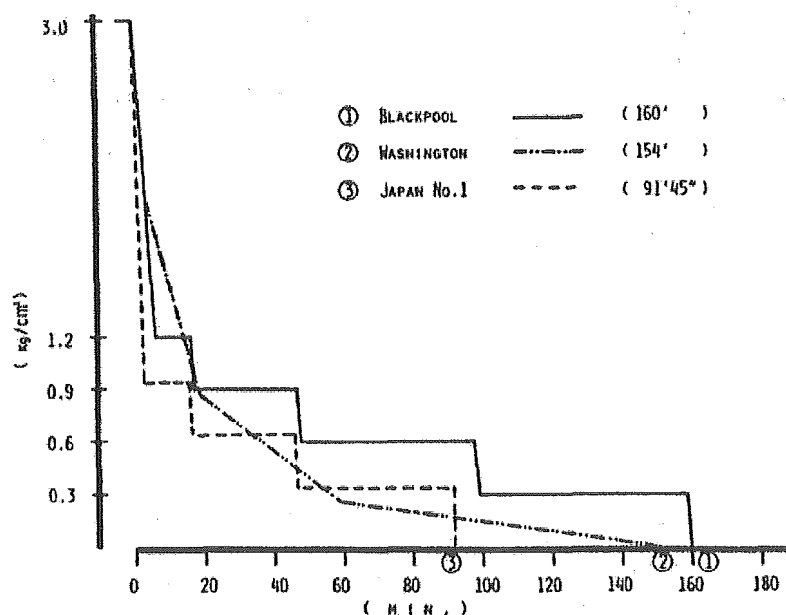


図 1-3 日本の標準減圧表に基づき減圧したときの合計減圧時間

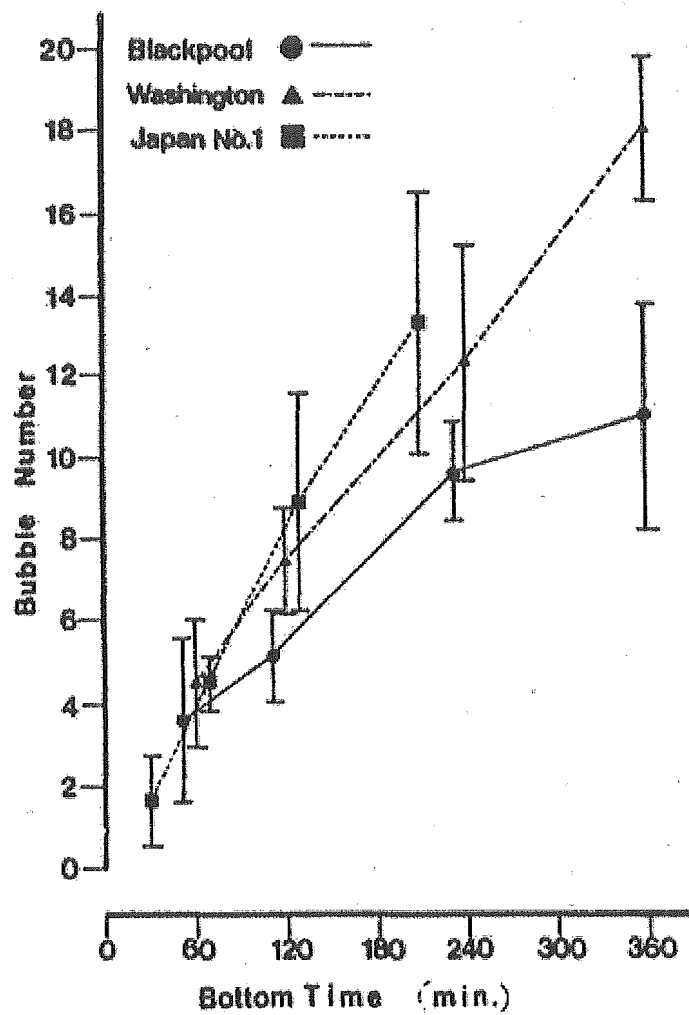


図 1-4 3 種類の減圧表を気泡計測法に基づき評価

Blackpool : ブラックプール表

Washington : ワシントン表

Japan No.1 : 日本の標準減圧表別表第 1

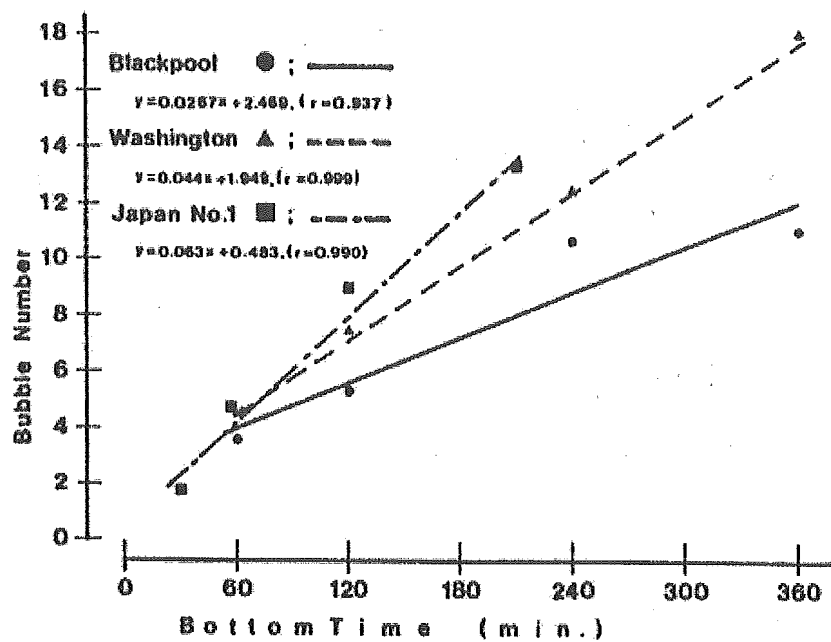


図 1-5 気泡数に基づき回帰式を作成

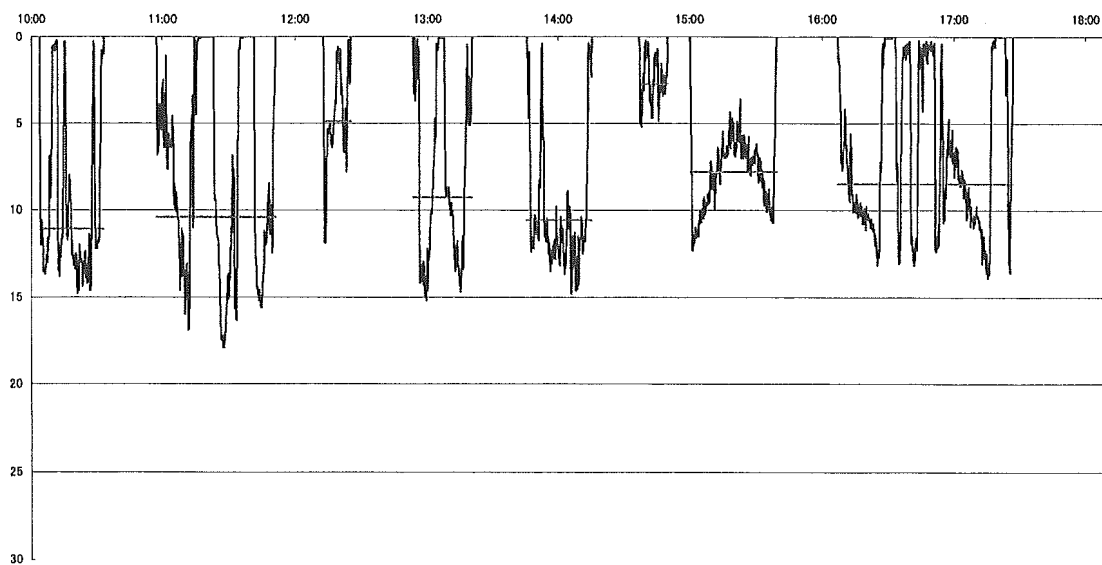
ダイビングプロフィールを解析

新島・若郷漁業協同組合の組合員による漁業潜水者の潜水プロフィール

○ダイバー 若郷・追い込み

2003/9/5

	<1本目>	<2本目>	<3本目>	<4本目>	<5本目>	<6本目>	<7本目>	<8本目>
潜行開始;	10:03	10:57	12:12	12:53	13:45	14:37	15:00	16:07
潜行終了;	10:33	11:51	12:25	13:20	14:15	14:50	15:39	17:27
最大水深(m)	14.9	17.9	12	15.4	15	5.2	12.8	14
平均水深(m)	11.1	10.4	4.9	9.3	10.6	2.7	7.8	8.5
潜水時間;	0:29	0:53	0:12	0:27	0:29	0:12	0:38	1:19
休息;	0:24	0:21	0:28	0:25	0:21	0:10	0:27	

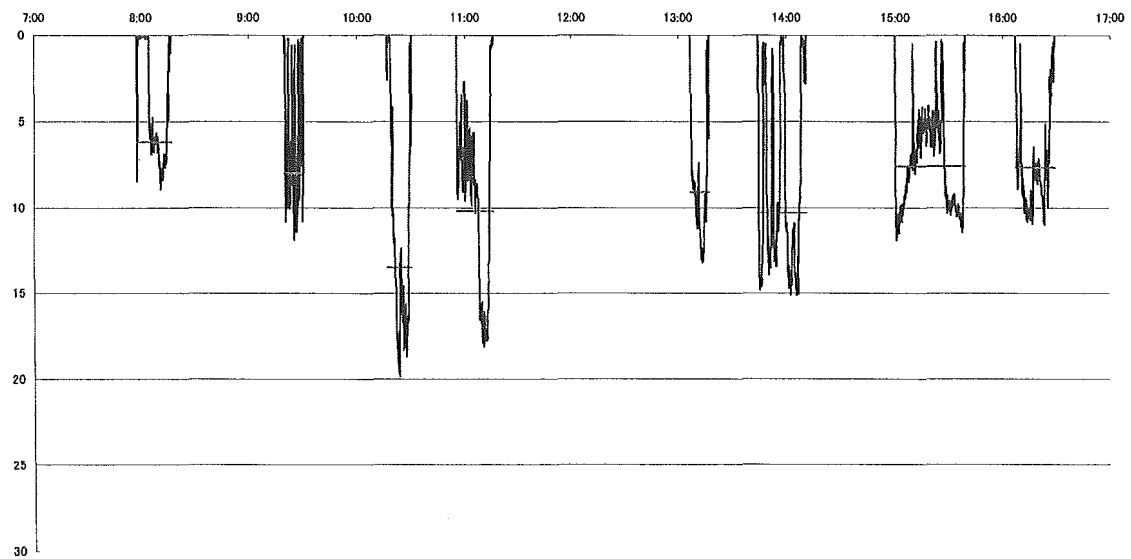


新島・若郷漁業協同組合の組合員による漁業潜水者の潜水プロフィール

Qダイバー 若郷・追い込み

2003/9/5

	<1本目>	<2本目>	<3本目>	<4本目>	<5本目>	<6本目>	<7本目>	<8本目>
潜行開始;	7:57:46	9:19:50	10:16:41	10:55:35	13:06:41	13:44:17	14:59:56	16:07:08
潜行終了;	8:16:52	9:30:25	10:30:11	11:15:45	13:17:21	14:11:01	15:38:53	16:29:07
潜水時間;	19:06	10:35	13:30	20:10	10:40	26:44	38:57	21:59
最大水深;	8.9	11.9	20	18.1	13.2	15.1	11.9	11.1
平均水深;	6.2	8	13.5	10.2	9.1	10.3	7.6	7.7
休息;	1:02:58	0:46:16	0:25:24	1:50:56	0:26:56	0:48:55	0:28:15	



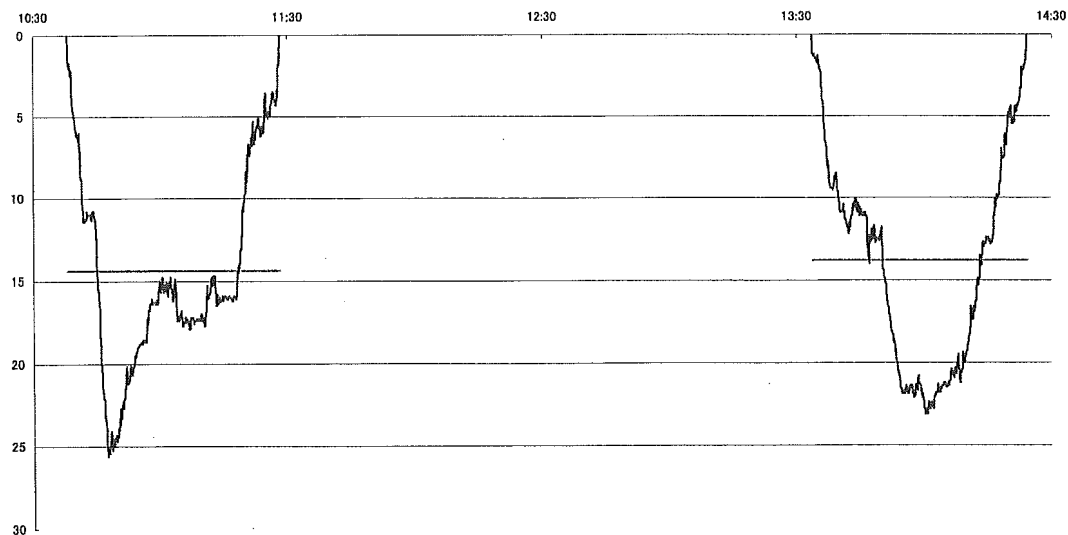
職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Kダイバー 大瀬・湾内/先端

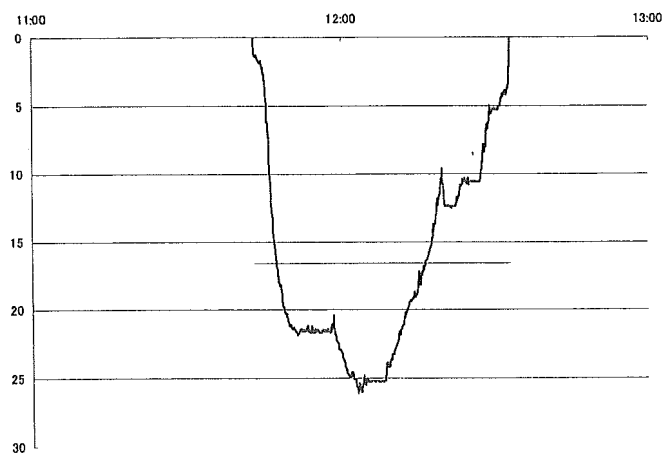
2005/1/30 湾内
<1本目>
潜行開始; 10:38
潜行終了; 11:28
潜水時間; 0:49
最大水深(m); 25.6
平均水深(m); 14.4
休息;

先端
<2本目>
13:33
14:24
0:50
23.1
13.8

2:05



2005/2/2 湾内
<1本目>
潜行開始; 11:43
潜行終了; 12:32
最大水深(m); 25.6
平均水深(m); 14.4
潜水時間; 0:49
休息;



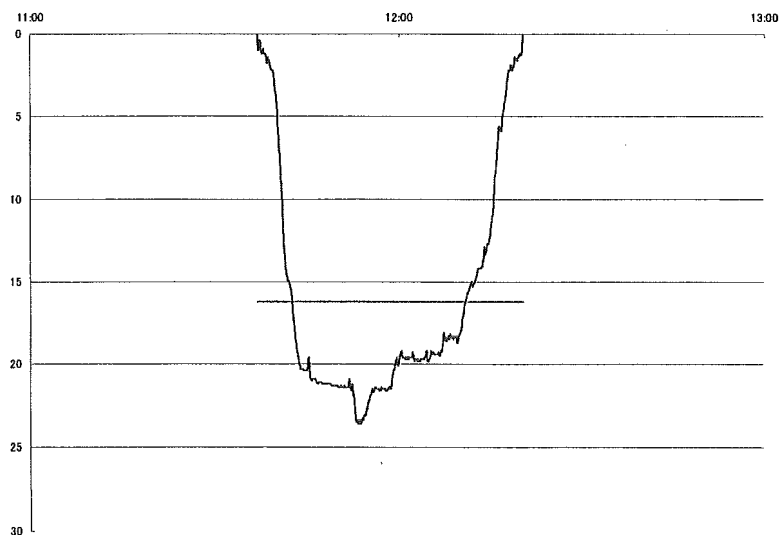
職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

ダイバー 大瀬・湾内

2005/2/4

<1本目>

潜行開始; 11:37
 潜行終了; 12:20
 最大水深(m); 23.6
 平均水深(m); 0:43
 潜水時間; 16.2
 休息(hr);



2005/2/7

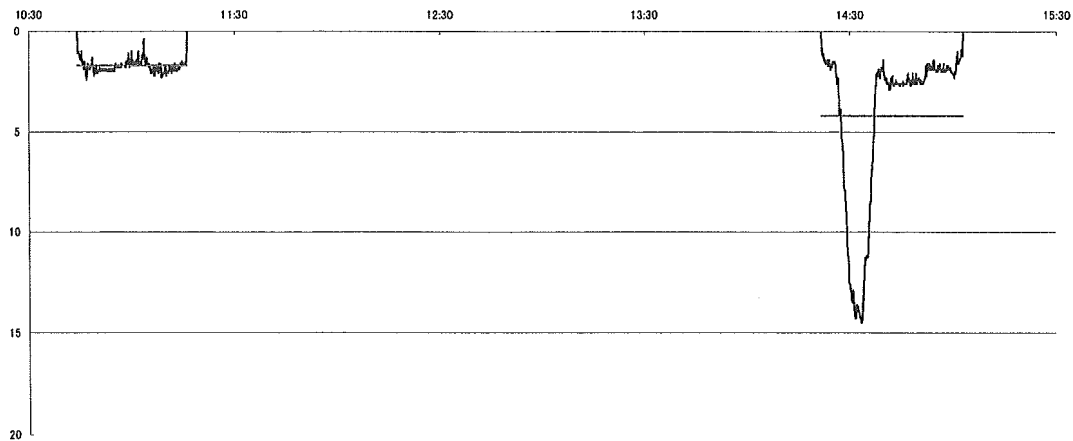
<1本目>

潜行開始; 10:44
 潜行終了; 11:16
 最大水深(m); 23.6
 平均水深(m); 1.7
 潜水時間; 0:31
 休息(hr);

<2本目>

14:21
 15:02
 14.5
 4.2
 0:40

3:05



職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Iダイバー 大瀬・先端

2005/2/5

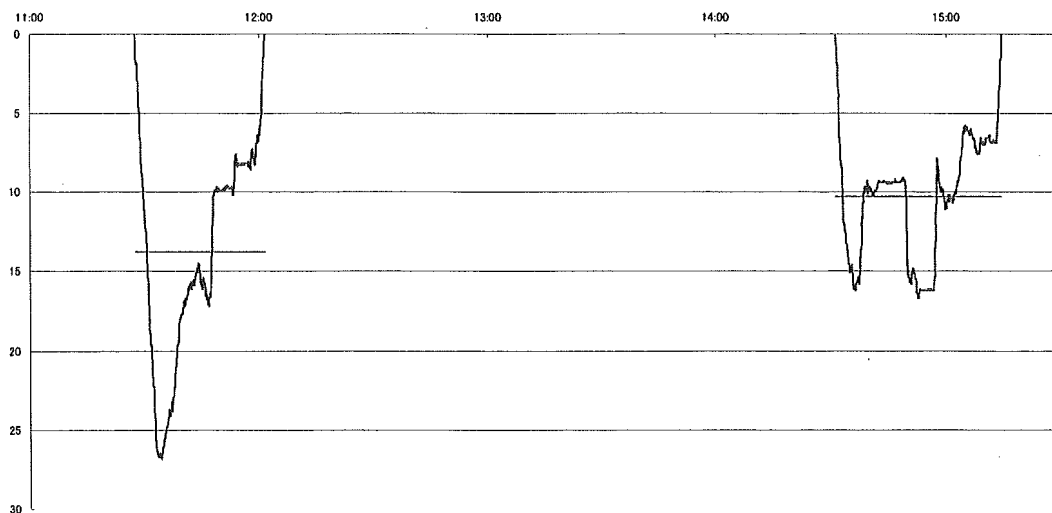
<1本目>

潜行開始: 11:27
潜行終了: 12:01
最大水深: 26.8
平均水深: 13.8
潜水時間: 33:55
休息:

<2本目>

14:31
15:14
16.7
10.3
43:09

2:29



2005/2/6

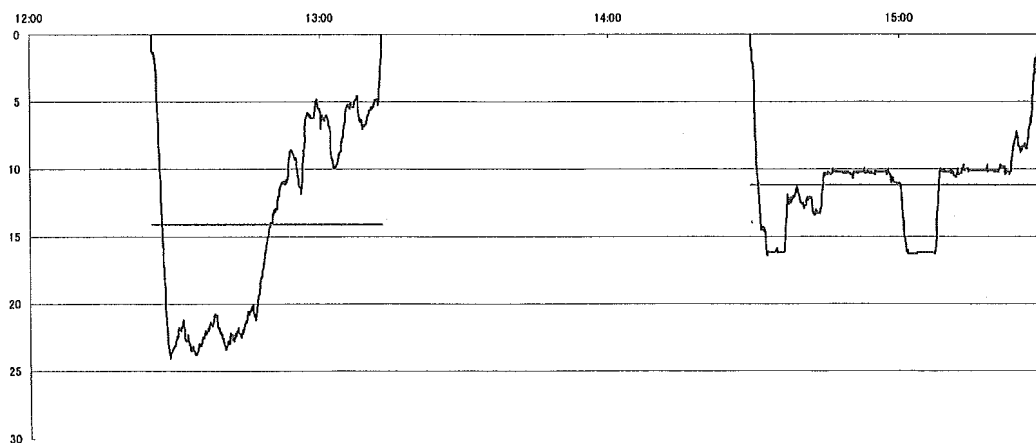
<1本目>

潜行開始: 12:25
潜行終了: 13:12
最大水深: 24.1
平均水深: 14.1
潜水時間: 0:47
休息:

<2本目>

14:29
15:28
16.5
11.2
0:59

1:16



職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Jダイバー 大瀬

2005/2/6

<-本目>

<2本目>

潜行開始; 14:22

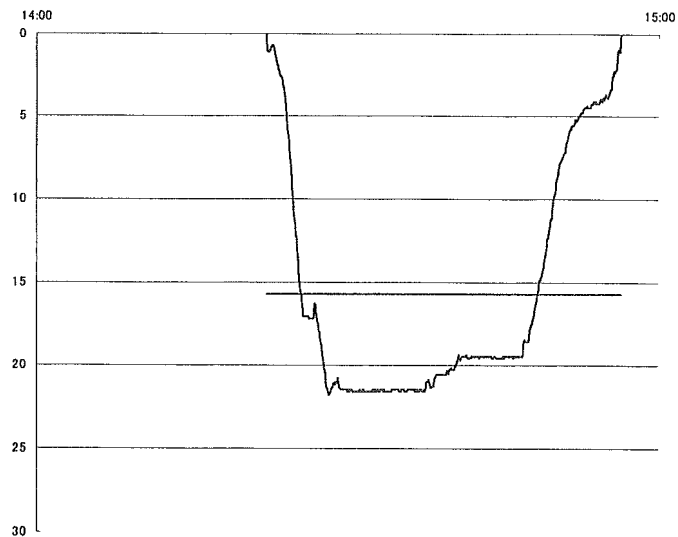
潜行終了; 14:56

最大水深; 21.9

平均水深; 15.7

潜水時間; 0:34

休息;



2005/2/7

<1本目>

潜行開始; 15:18:18

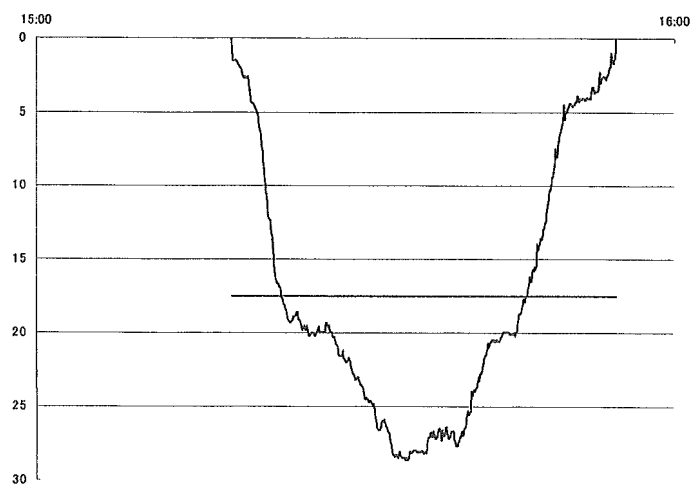
潜行終了; 15:54:26

潜水時間; 36:08

最大水深; 28.6

平均水深; 17.5

休息;

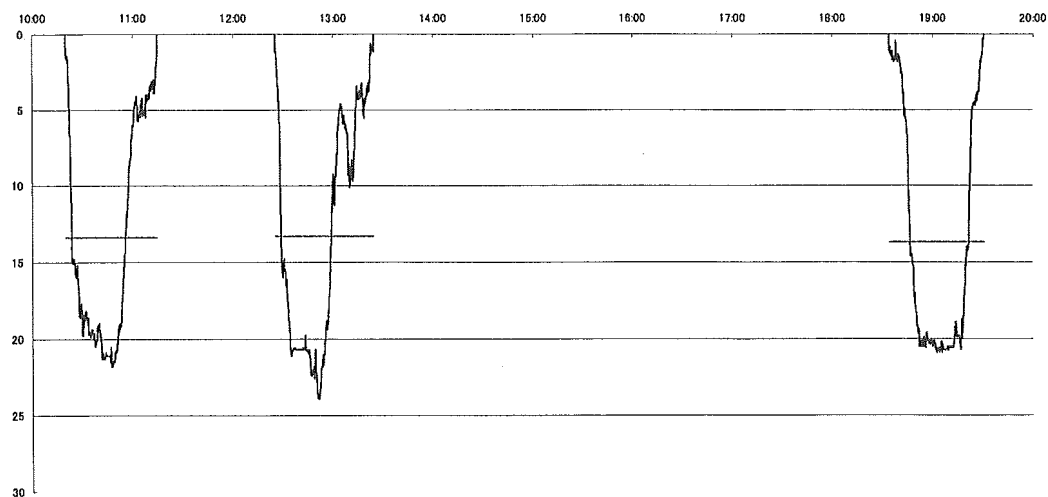


職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Jダイバー 大瀬

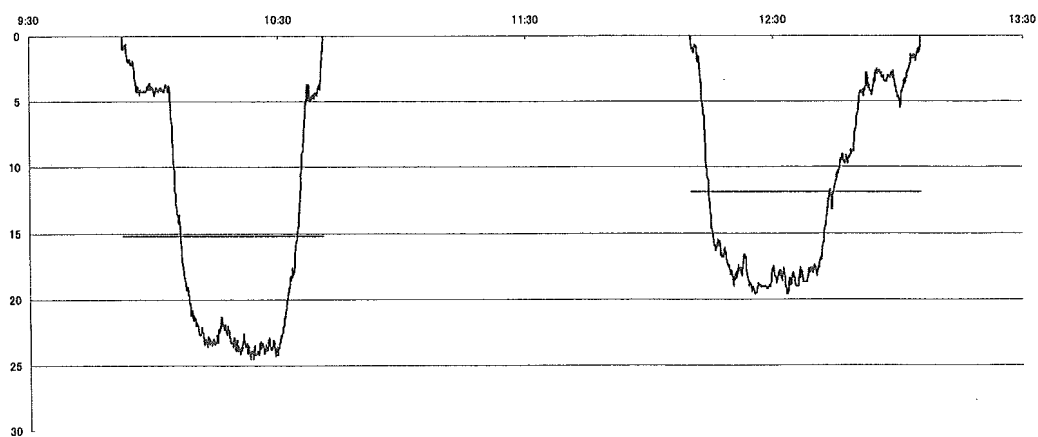
2005/2/9

	<1本目>	<2本目>	<3本目>
潜行開始;	10:19	12:25	18:33
潜行終了;	11:14	13:24	19:30
最大水深(m);	21.8	24	20.9
平均水深(m);	13.4	13.3	13.7
潜水時間;	0:54	0:59	0:56
休息(hr);	1:10		5:09



2005/2/10

	<1本目>	<2本目>
潜行開始;	9:52	12:10
潜行終了;	10:40	13:05
最大水深(m);	21.8	21.8
平均水深(m);	13.4	13.4
潜水時間;	0:48	0:55
休息(hr);		1:29



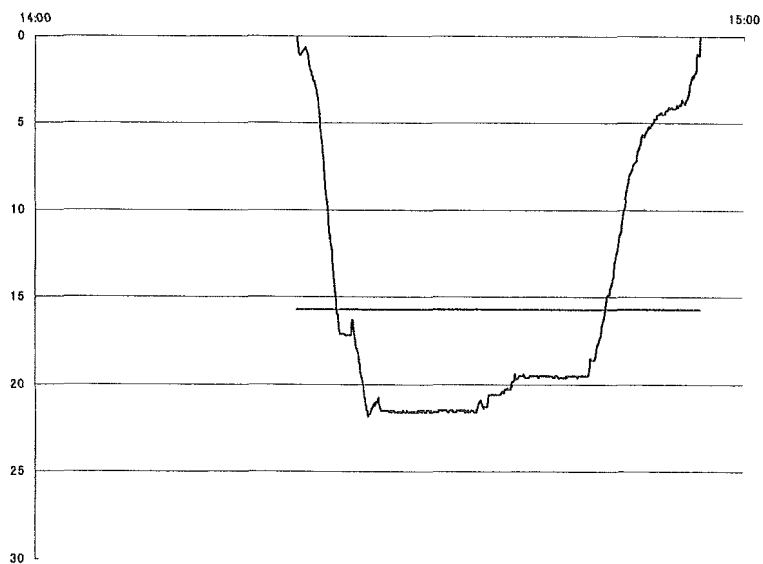
職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Nダイバー 大瀬・湾内

2005/2/6

<2本目>

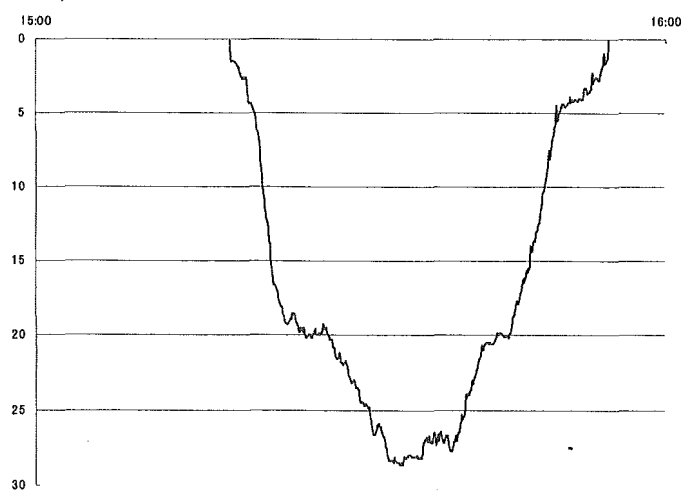
潜行開始; 14:22:04
潜行終了; 14:56:11
最大水深; 21.9
平均水深; 15.7
潜水時間; 34:07
休息;



2005/2/7

<1本目>

潜行開始; 15:18:18
潜行終了; 15:54:26
最大水深; 21.9
平均水深; 15.7
潜水時間; 36:08
休息;

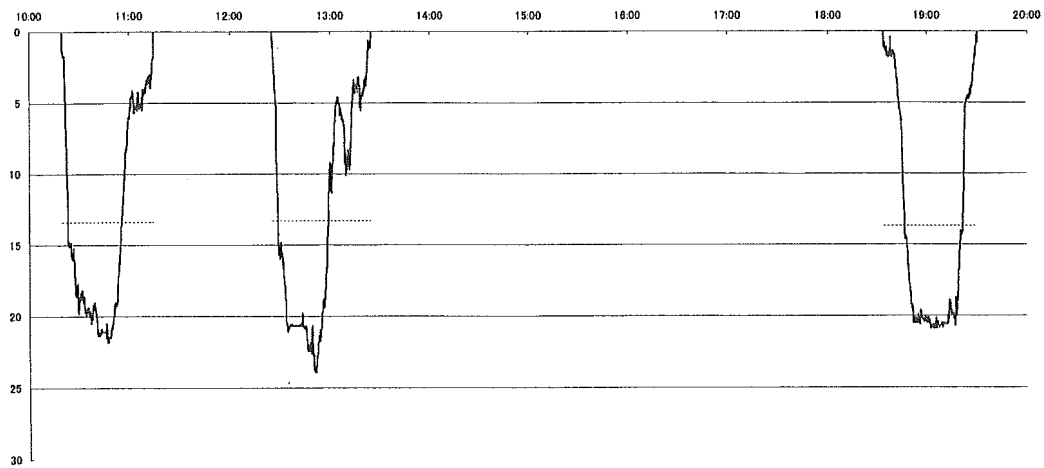


職業(ガイド)ダイバーの潜水プロフィール

Nダイバー 大瀬・湾内

2005/2/9

	<1本目>	<2本目>	<3本目>
潜行開始;	10:19	12:25	18:33
潜行終了;	11:14	13:24	19:30
最大水深(m);	21.8	24	20.9
平均水深(m);	13.4	13.3	13.7
潜水時間;	0:54	0:59	0:56
休息;	1:10		5:09



2005/2/10

	<1本目>	<2本目>
潜行開始;	9:52	12:25
潜行終了;	10:40	13:24
最大水深;	21.8	21.8
平均水深;	13.4	13.4
潜水時間;	0:48	0:59
休息;	1:44	

