

日本海対馬海流域におけるヤムシ類の昼夜鉛直移動*^{1,2}

西濱 士郎¹⁾・平川 和正²⁾

Diel Vertical Migration of Chaetognaths in the Tsushima Current Area of the Japan Sea*^{1,2}

Shirou NISHIHAMA¹⁾ and Kazumasa HIRAKAWA²⁾

Abstract

Vertical distribution and diel migration of chaetognaths were studied in Toyama Bay and at Yamato Tai, areas affected by the Tsushima Current in the Japan Sea. Contrary to the common pattern, immature individuals of the cold water species *Sagitta elegans* migrated vertically while mature individuals did not vertically migrate. Migration of immature *S. elegans* occurred in periods of weak stratification, and in strongly stratified periods all *S. elegans* stayed below 200 m. On the other hand, the epipelagic species, *S. nagae*, and *S. enflata*, showed migration during the strongly stratified period. *S. minima*, an epipelagic species, showed no migration or an uncertain pattern. Migration patterns and their variations of the chaetognaths in the Japan Sea were closely related to the temperature profile and its seasonal variation.

Key words : chaetognath, diel migration, Japan Sea, maturity stage, water temperature

緒 言

ヤムシ類のうち、*Sagitta elegans*、*S. nagae*および*S. enflata*など多くの種類で日周鉛直移動を行うことが知られており、それらは夜間に表層に浮上し日中は沈降する。また、成熟段階によって、鉛直移動パターンが異なることもある。一般に、未成熟個体は表層にいて移動を行わず、成熟が進むにつれて昼夜移動が明瞭になり、移動距離も大きくなる(PEARRE 1973; KING 1979; TERAZAKI and MARUMO 1979; CONWAY and WILLIAMS 1986; STUART and VERHEYE 1991; ANDREU 1992; GIBBONS 1992; GIBBONS and STUART 1994)。本邦周辺海域では、NAGASAWA and MARUMO (1975)が駿河湾において、*S. nagae*の鉛直分布の昼夜変化を調べ、成熟の進んだ個体が昼夜移動を行うことを示した。また、TERAZAKI and MARUMO (1979)は、日本海北部と北海道東方沖において、*S. elegans*の成熟段階毎の明瞭な昼夜移動パターンを明らかにしている。

1997年12月4日受理 日本海区水産研究所業績A第523号

¹⁾ 〒907-0451 沖縄県石垣市字椋海大田148-446 西海区水産研究所石垣支所
(Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, Fukai-Ohta, Ishigaki, Okinawa 907-0451, Japan)

²⁾ 〒951-8121 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所
(Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suido-cho, Niigata 951-8121, Japan)

*¹本研究は環境庁地球環境研究総合推進費「衛星可視域データのグローバルマッピングによる広域環境変動に関する研究」の一部として行った。

*²本研究の一部は、平成8年3月日本生態学会第43回大会で発表した。

ヤムシ類は海洋の浮遊生物食物網(pelagic food web)の中で、捕食者として重要な位置を占めているといわれており、それらの分布パターンの時空間的変動を把握することは、海域の生物生産構造を解明する上で必要不可欠であると考えられる。

本研究では、日本海中央部大和堆水域と富山湾において、動物プランクトン主要種の生産構造を解明するための研究の一環として、主要ヤムシ類の鉛直分布パターンとその昼夜変化を比較・検討した。特に、両水域で優占的に出現する*S. elegans*については、サイズ(体長)または成熟段階別に鉛直分布とその昼夜変化を検討して、これまでに知られていた例とは異なる分布パターンを見出したので、報告する。

本文に先立ち、野外採集調査にご協力頂いた日本海区水産研究所調査船“みずほ丸”の船長並びに乗組員の方々に御礼申し上げます。

材料と方法

動物プランクトンの同時層別採集は、大和堆の定点(39°00′N, 135°00′E)では、1988年6月、1994年8月、および1994年10月に、さらに富山湾中央部の定点(37°00′N, 137°14′E)では1995年2月に行った(Fig. 1)。採集は日本海区水産研究所の調査船“みずほ丸”(156 t)により、M T D水平閉鎖ネット(口径:56cm, 目合い:0.35mm)(MOTODA, 1971)を用いて行った。各調査の日付と採集深度をTable 1に示した。一回の採集は、浅層(0-200 m深)の9採集深度と深層(大和堆では250-900 m深, 富山湾では250-700 m深)の6~7採集深度に分けて行い、各々30分間同時に曳網し、これを昼間と夜間に行った。1988年6月と1994年10月の大和堆では、C T Dにより1000 m深まで、1995年2月の富山湾では、500 m深までの水温と塩分のプロファイルを観測した。また、1994年8月の大和堆では、X B Tにより500 m深までの水温のみの観測を行った。

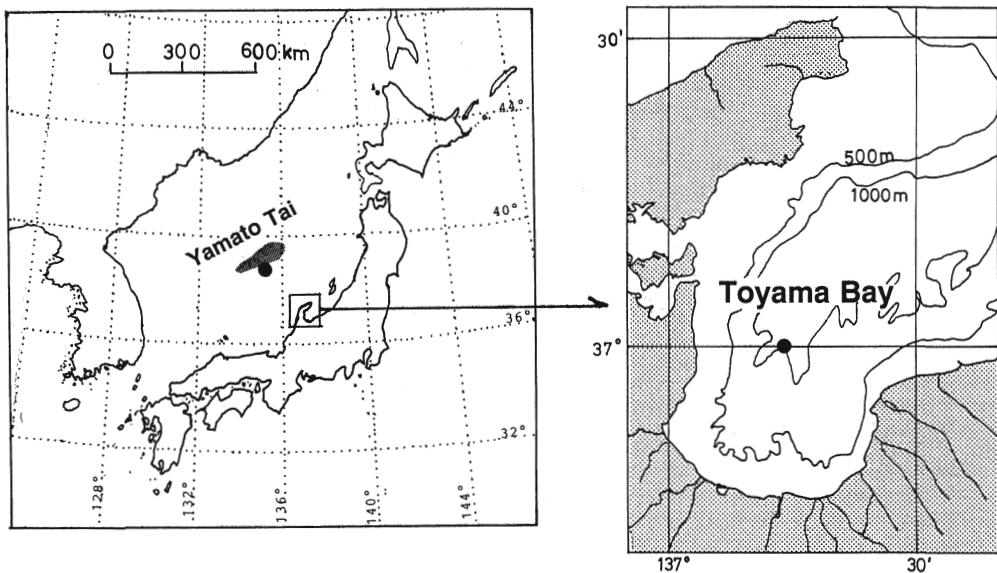


Fig. 1. Locations of the sampling stations (solid circles) at Yamato Tai (left) and Toyama Bay (right).

Table 1. Stations, dates and sampling depths for zooplankton with the MTD net.

Station	Date	Sampling Time	Sampling Depth (m)	Remarks
Yamato Tai	18 June 1988	10:34-11:05	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Day
39° 00' N, 135° 00' E	18 June 1988	12:46-13:15	250, 300, 400, 500, 700, 900	Day
	18 June 1988	22:55-23:25	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Night
	19 June 1988	00:30-01:00	250, 300, 400, 500, 700, 900	Night
Yamato Tai	23 Aug. 1994	22:04-22:34	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Night
39° 00' N, 135° 00' E	23, 24 Aug. 1994	23:37-00:07	250, 300, 400, 500, 700, 900	Night
	24 Aug. 1994	11:17-11:47	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Day
	24 Aug. 1994	12:36-13:06	250, 300, 400, 500, 700, 900	Day
Yamato Tai	8 Oct. 1994	21:12-21:42	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Night
39° 00' N, 135° 00' E	8 Oct. 1994	22:45-23:15	250, 300, 400, 500, 700, 900	Night
	9 Oct. 1994	11:16-11:46	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Day
	9 Oct. 1994	12:50-13:20	250, 300, 400, 500, 700, 900	Day
Toyama Bay	22 Feb. 1995	12:00-12:30	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Day
37° 00' N, 137° 14' E	22 Feb. 1995	13:44-14:14	250, 300, 350, 400, 500, 600, 700	Day
	22 Feb. 1995	22:33-23:03	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200	Night
	22 Feb. 1995	21:00-21:30	250, 300, 350, 400, 500, 600, 700	Night

得られたサンプルは船上で10%海水ホルマリンで固定し、陸上の研究室に持ち帰ってヤムシ類を選別した。体長10mm以上の個体は全て肉眼で拾い出し、10mm未満の個体は、サンプルを1/2から1/128に分割して、実体顕微鏡下で選別を行った。選別したヤムシ類は種毎に計数し、*S. elegans*については生殖巣の発達と鉛直移動の強度(距離と移動集団の大きさ)との関係を調べるため成熟度別に計数した。*S. elegans*の成熟度の判別は、Zo(1973)の用いた簡便法に従い、①卵巣が全く見られないものをStage I、②発達途上の卵巣はあるが成熟卵が認められないものをStage II、③成熟卵が1つ以上認められるものをStage IIIとした。ただし、大和堆の1988年6月と1994年8月のサンプルは、損傷がひどいため、ほとんどの標本の成熟度を判別できなかった。

結 果

1 水温と塩分の鉛直分布

(1) 大和堆

1988年6月では、表面水温は16.4℃で、深くなるにつれて急速に低下し、100 m深で5.4℃、200 m深で1.7℃、300 m以深では1℃以下であった(Fig. 2 a)。また塩分は表層でわずかに高く(PSU: 34.17-34.19)、200 m以深ではほぼ一定(34.07)であった。

1994年8月には、表面水温は27.1℃と、1988年6月よりも10℃以上高かったが、100 m以深では1988年6月とほぼ同じで、100 m深で5.4℃、200 m深では1.2℃、250 m以深は1℃以下であった(Fig. 2 b)。

1994年10月には、表面水温は23.0℃と、8月に比べてやや低くなるが、100-300 m層では8月よりもやや高く、100 m深で8.6℃、200 m深で2.2℃であった。300 m以深では1℃以下であった。塩分は表層でやや低く(PSU: 33.3-33.7)、50-100 m層で若干高くなり(34.3-34.5)、100 m以深では一定であった(Fig. 2 c)。

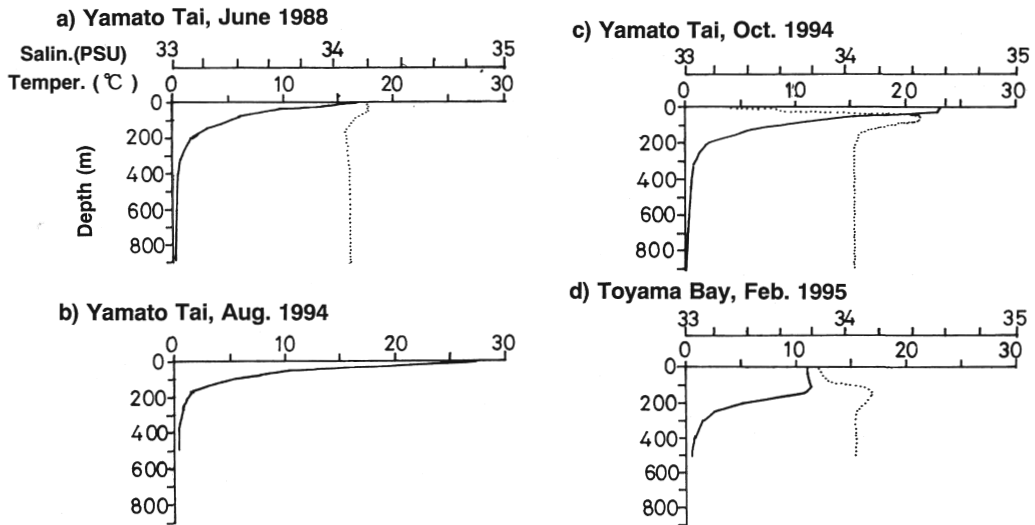


Fig. 2. Profiles of water temperature (solid lines) and salinity (dotted lines) during each cruise at Yamato Tai and Toyama Bay.

(2) 富山湾1995年2月

富山湾は対馬海流の影響を強く受けるため、2月でも表層から150 mまでの水温は11℃前後であった。顕著な水温躍層が200 m深付近にあり、250 m以深は2.5℃以下、400 m以深は1℃以下であった。塩分は表層でやや低く(PSU: 33.8-33.9)、150 m深付近で高くなり(34.16)、250 m以深では一定(34.07)であった(Fig. 2d)。

2 ヤムシ類の昼夜鉛直分布

(1) 大和堆1988年6月

出現したヤムシ類は、全て*S. elegans*と同定された。Fig. 3に全個体の昼夜分布を示した。本種は、昼間には100 m深と250 m深に密度のピークが認められ、夜間は表層に非常に高いピーク(1260個体/100m³)が現れ、昼夜移動が確認された。

この時のサンプルは損傷が酷いため、成熟度の判別をできなかったが、推定体長を求めることができた。そこで、サイズ(体長)クラス毎の分布の違いを検討するために、深度毎にサイズ組成を示した(Fig. 4)。サイズ組成のモードは、昼夜ともに深層に行くほど大きくなっており、また、50 m以浅には日中はヤムシ類は現れず、夜間に主に体長20mm未満の個体が出現した。さらに、70 m以深でのサイズ組成を昼夜で比較すると、ほとんどの層で大きな変化がない中で、200 m深でのサイズ組成だけが著しくモードが異なっていた。この採集深度では、日中には10mm未満の個体の割合が高いのに比べて、夜間には15-25mmの割合が高くなっていた。これは、夜間に200 m深付近から小型個体がそれ以浅の層へ移動していることを示している。

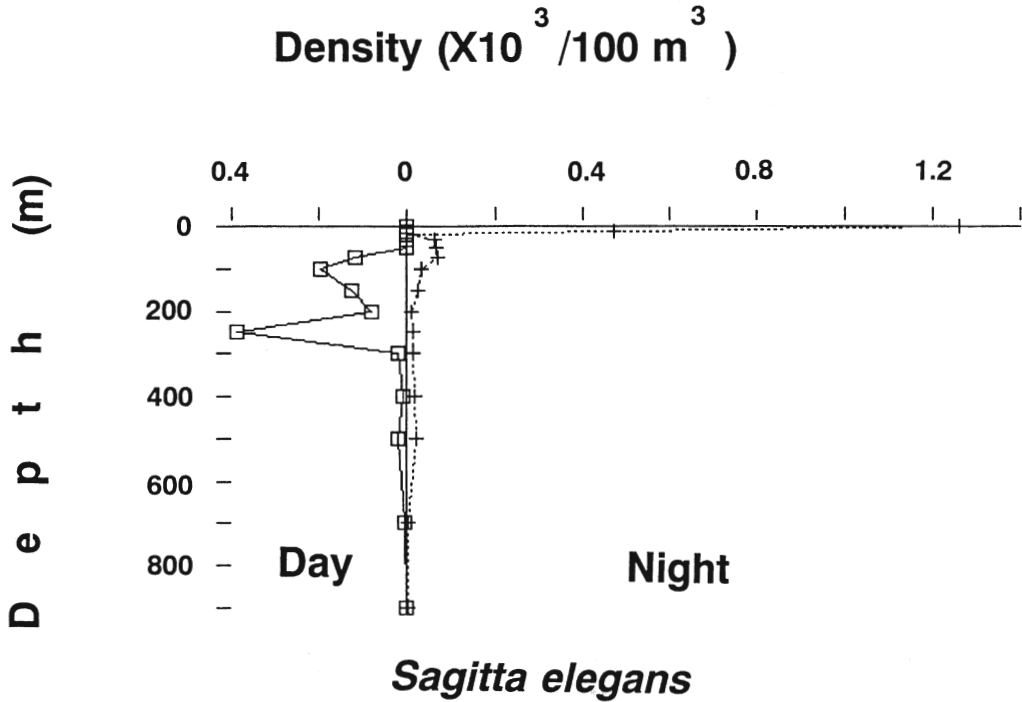


Fig. 3. Day-night vertical distribution of *Sagitta elegans* in June 1988 at Yamato Tai.

以上のことから、1988年6月の大和堆では、*S. elegans*の大型個体(体長：25mm以上)は深層にとどまって昼夜移動を行わず、中～小型個体(体長：25mm未満)が夜間に、主に200 m深付近から表層へと浮上したものと考えられた。

(2) 大和堆1994年8月

出現した主なヤムシ類は、*S. nagae*と*S. elegans*であった。前者は100 m以浅に分布しており、日中は50 m深に、夜間は表層に分布のピークがみられ、昼夜移動が認められた。一方、後者は昼夜ともに200 m以深に分布しており、昼夜移動は認められなかった(Fig. 5)。 *S. elegans*は、Stage I とStage II が出現したが、損傷したものが多く、成熟段階間・サイズ間の分布の違いを検討することはできなかった。

(3) 大和堆1994年10月

主な出現種は*S. elegans*、*S. nagae*、*S. minima*および*S. enflata*であった。*S. elegans*のStage I は、ほとんどの個体が昼夜ともに150 m以深に分布していたが、ごく一部が夜間に50 m深まで浮上した。Stage II の個体は昼夜ともに200 m以深に分布し、昼夜の変化は認められなかった(Fig. 6)。

残る3種は全て、100 m以浅に生息する表層種であった。これらのうち、*S. minima*は昼夜ともに50 m深を中心分布しており、昼夜移動は認められなかった。*S. nagae*は8月と全く同様に、日中には50 m深に、夜間には表層に密度のピークを示した。*S. enflata*は表層種の中では最も浅い層に分布しており、昼間には30 m深に、夜間には表層に密度のピークを形成した(Fig. 7)。

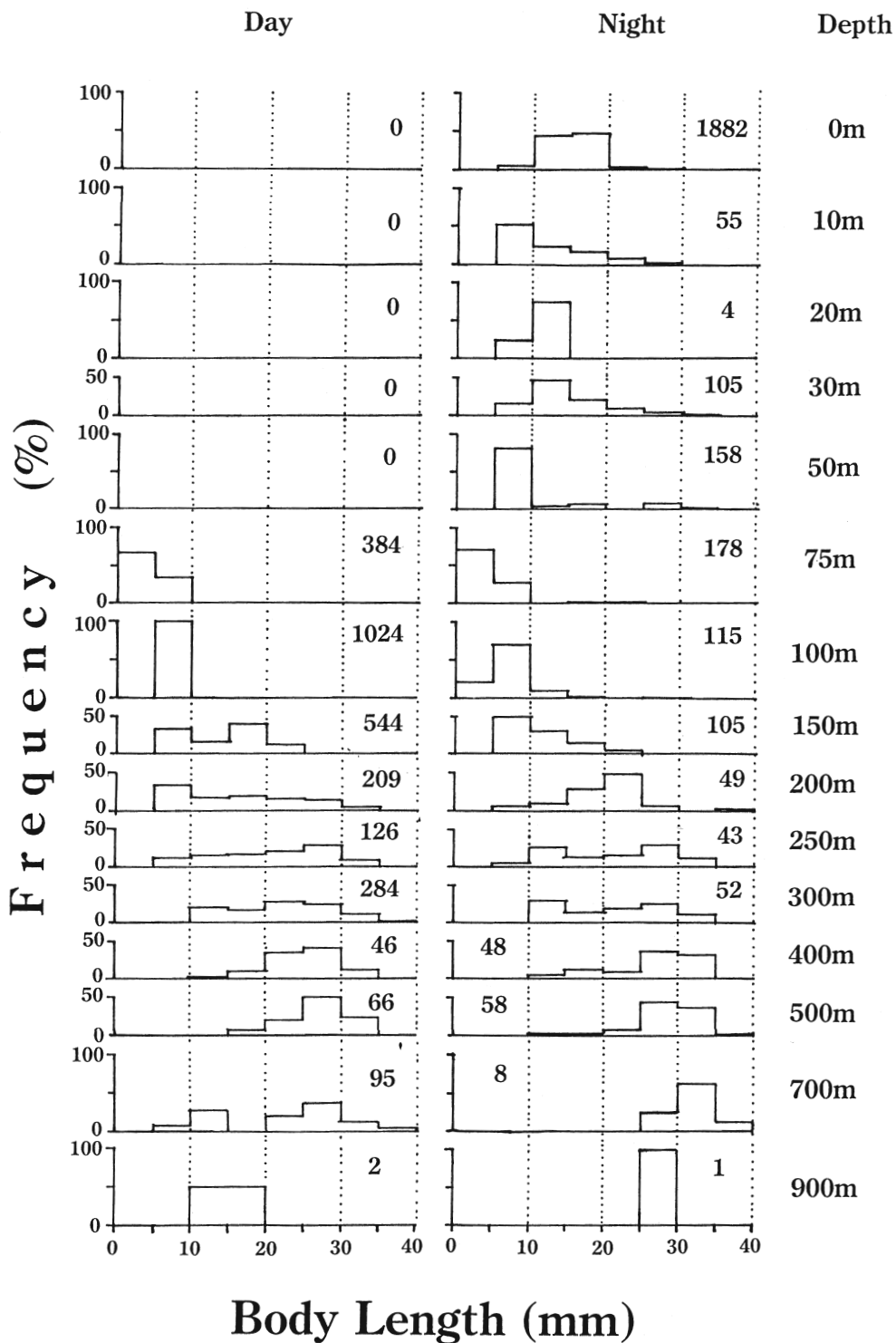


Fig. 4. Day-night changes of the size frequency distribution of *Sagitta elegans* from each sampling depth in June 1988 at Yamato Tai. Numbers in each histogram indicate the number of individuals per haul.

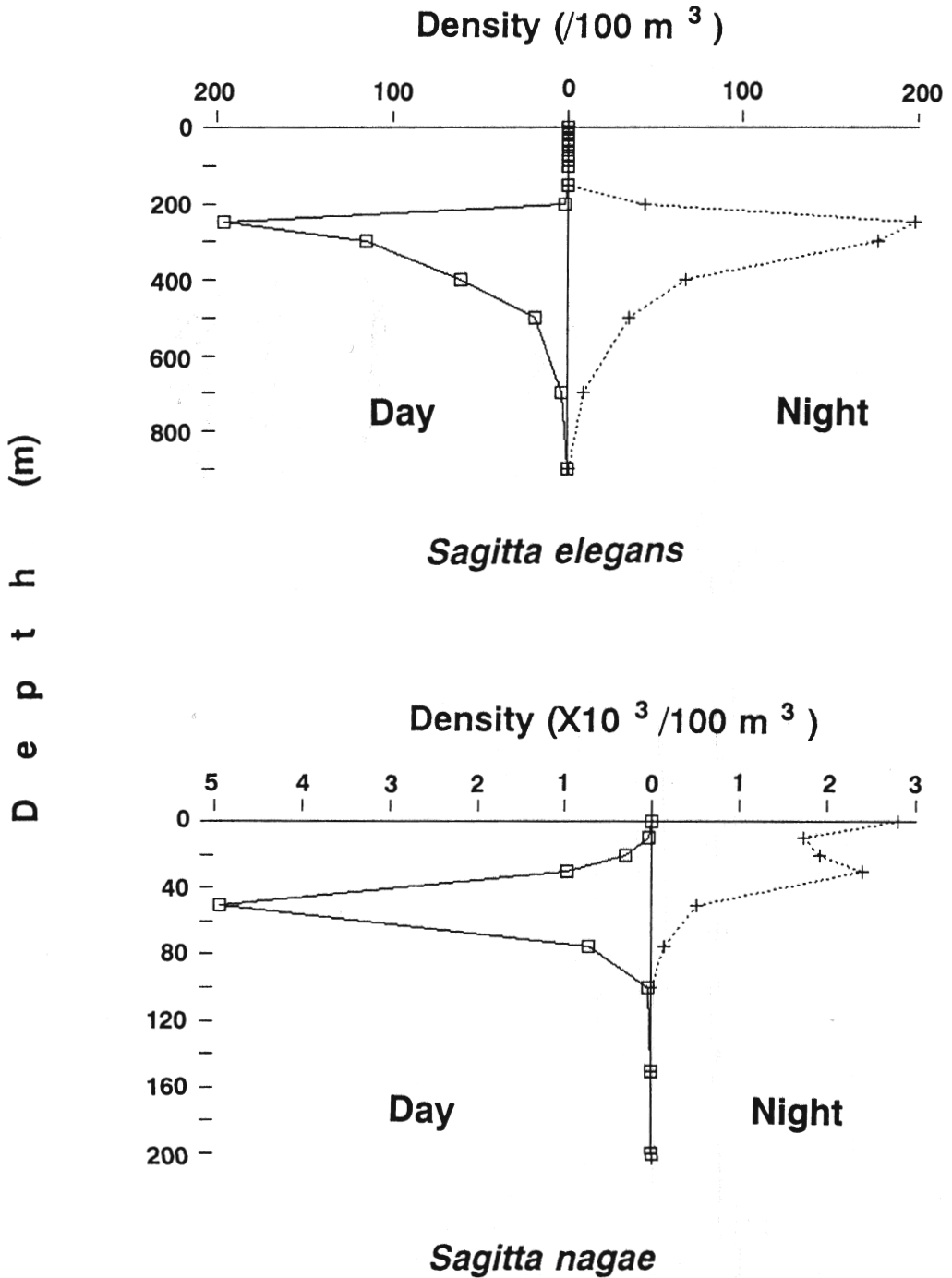


Fig. 5. Day-night vertical distributions of *Sagitta elegans* and *S. nagae* in August 1994 at Yamato Tai.

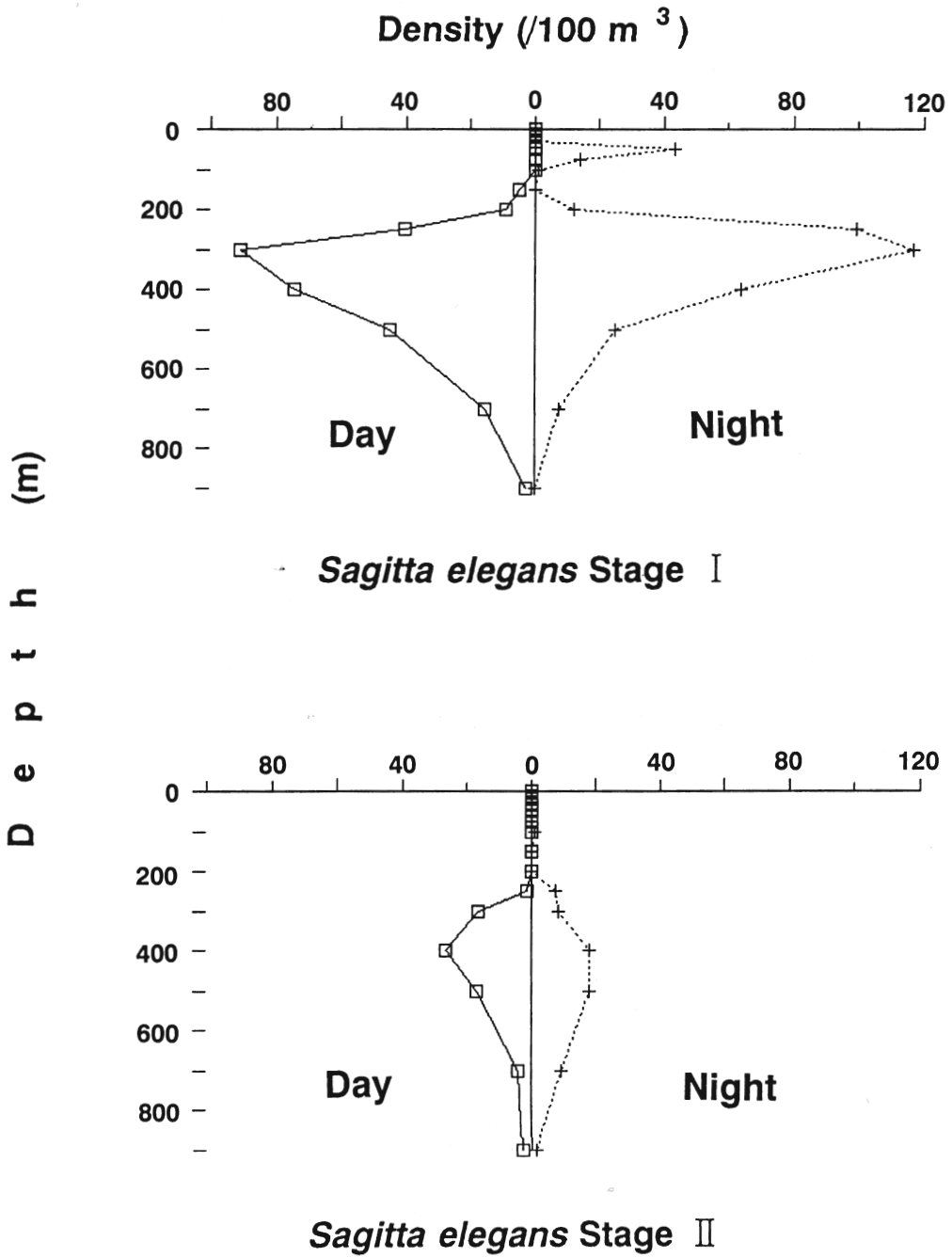


Fig. 6. Day-night vertical distribution of *Sagitta elegans* stages I and II in October 1994 at Yamato Tai.

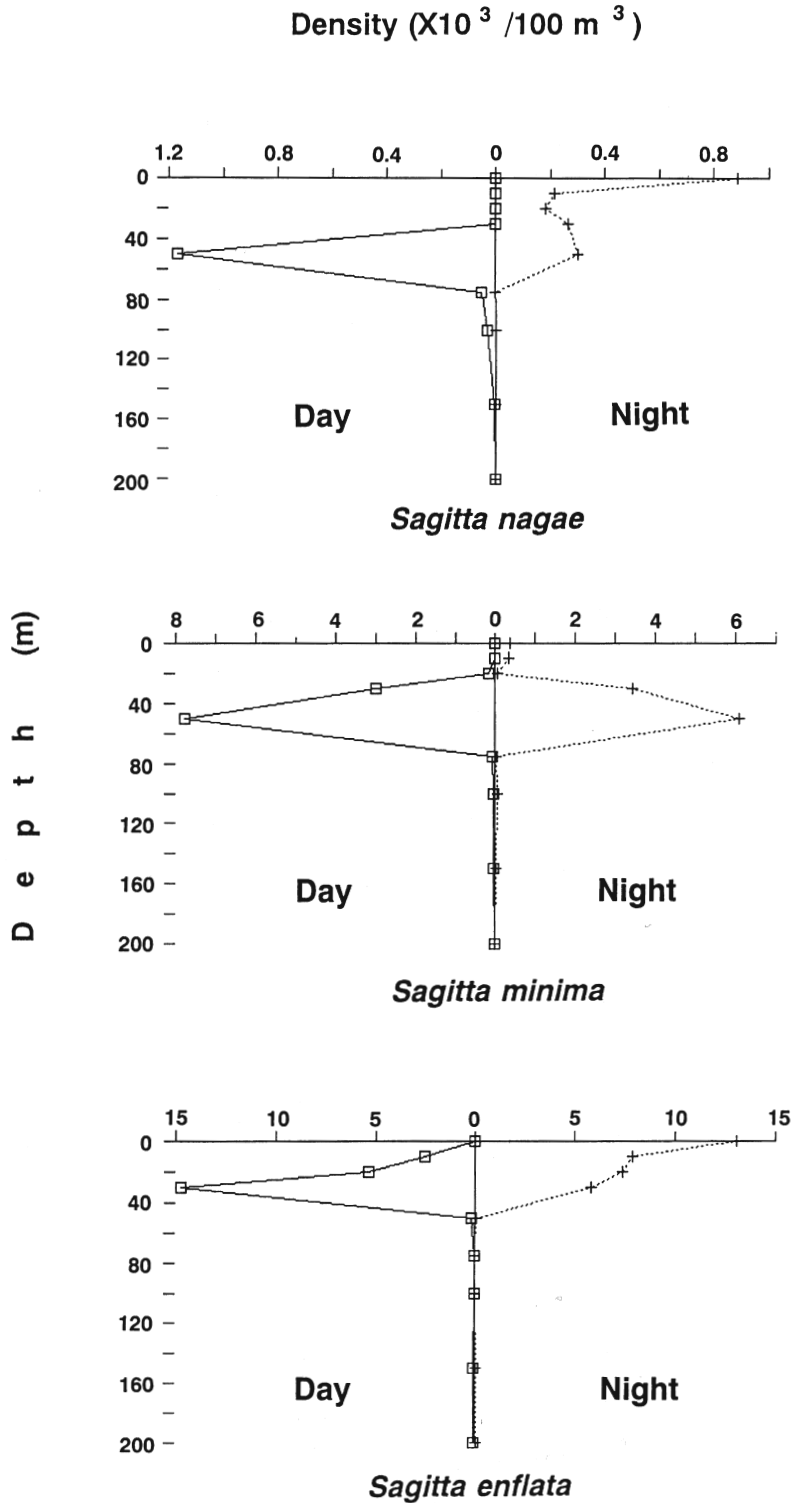


Fig. 7. Day-night vertical distributions of the three epipelagic chaetognaths (*Sagitta nagae*, *S. minima* and *S. enflata*) in October 1994 at Yamato Tai.

(4) 富山湾1995年2月

出現したヤムシ類は、*S. elegans*, *S. nagae*および*S. minima*の3種であった。*S. nagae*は100 m以浅に出現し、昼間20 m深から多数採取されたが、昼夜の分布パターンに顕著な変化は認められなかった(Fig. 8)。*S. minima*も100 m以浅に出現し、昼間には30 m深に、夜間には75 m深に密度のピークを形成した(Fig. 8)。

*S. elegans*の鉛直分布は Fig. 9 に示したように、成熟段階によって異なっていた。Stage I の個体は、昼間には150 m以深に分布し、200 m深で密度のピークを示した。しかし、このステージは夜間100 m以浅にも多量に出現し、密度のピークは30 m深と200 m深の両深度で認められた。これに対して、Stage II と Stage III の個体は150 m以深に分布し、分布パターンに昼夜の変化は認められなかった。密度のピークは両ステージともに、昼夜250 m深付近にあった。

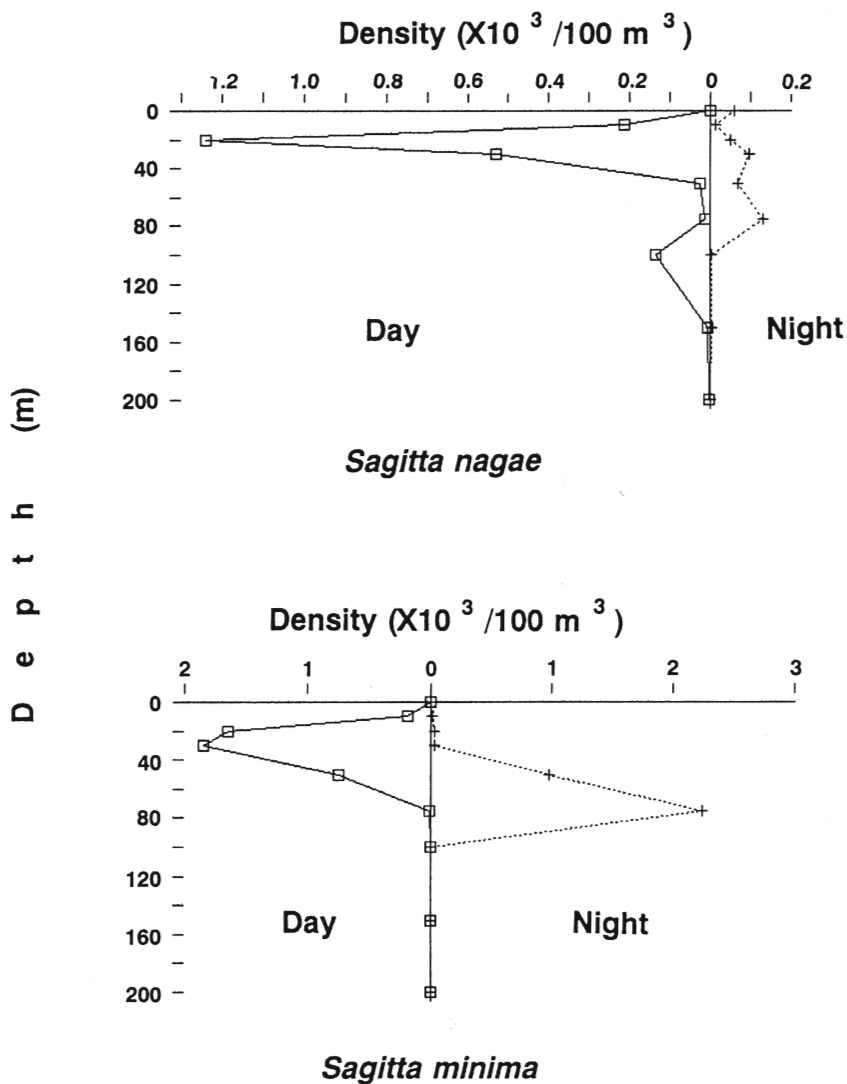


Fig. 8. Day-night vertical distributions of the two epipelagic chaetognaths (*Sagitta nagae* and *S. minima*) in February 1995 in Toyama Bay.

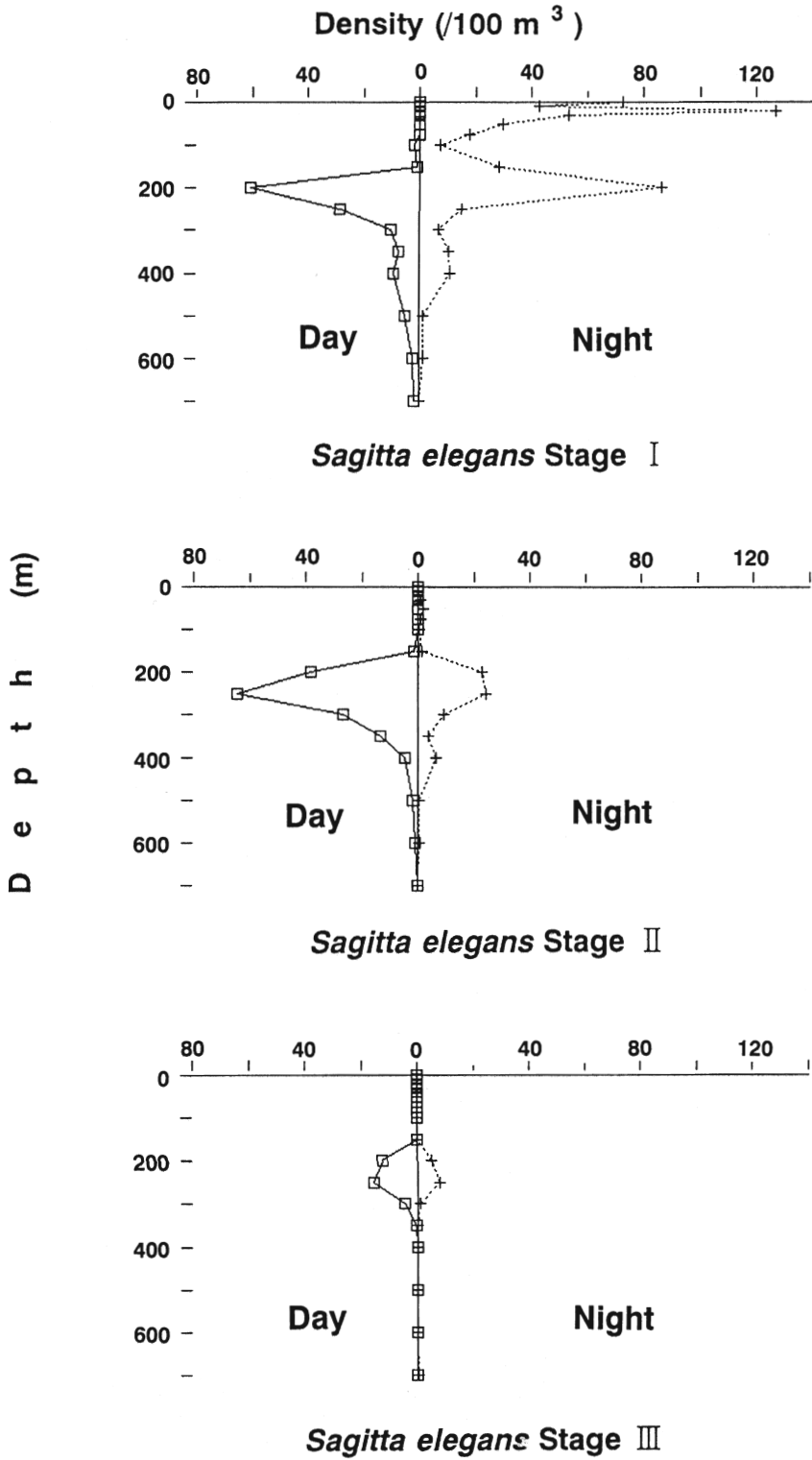


Fig. 9. Day-night vertical distribution of *Sagitta elegans* in February 1995 in Toyama Bay.

考 察

本研究で対象とした4種のヤムシ類のうち、*S. nagae*および*S. elegans*については、本邦周辺海域で昼夜鉛直移動を調べた事例がある。NAGASAWA and MARUMO (1975) は、駿河湾において*S. nagae*の鉛直分布を詳細に調べている。それによると、全個体(全発育段階を通して)の鉛直分布からは、通常の昼夜移動は認められなかったが、成熟段階毎に調べると、成熟個体では、夜間に浮上し昼間に沈降する移動パターンが認められた。本研究では*S. nagae*の成熟段階を分けていないので、直接駿河湾での観察結果との比較はできない。しかし、本研究で査定した*S. nagae*の90%以上は、卵巣が未発達で未成熟個体であったので(西濱 未発表), Fig. 5, 7, 8に示した本種の昼夜鉛直分布は、未成熟個体の主分布深度の変化を表していると考えられる。従って、8月および10月の大和堆では、*S. nagae*の未成熟個体は昼夜移動を行っていたと考えられる。

一方、*S. elegans*については、TERAZAKI and MARUMO (1979)が北海道西方の日本海北部海域の0-250 m層における調査を行い、幼体は昼夜ともに主に表層に分布して移動を行わず、成熟が進んだ個体ほど、より顕著な昼夜移動をすることを示した。しかしながら、本研究では、大和堆の*S. elegans*は、水温躍層が顕著な時期(8月)には昼夜移動を行わなかった。TERAZAKI and MARUMO (1979)が調査を行った時期と場所は、7-8月の日本海北部であり、この調査時の水温プロファイルによると、水温は表面では20℃であったが、50 m深では2℃台と著しく低下している。一方、我々が調査を行った2つの海域では、2℃台の水温は150 m以深あるいは200 m以深にみられ、夏季の表面水温は20℃以上に達した(Fig. 2)。従って、日本海の中央部や南部では、対馬海流の影響を受ける深度が深いため、水温躍層(表面水温:>20℃)が発達する時期には、*S. elegans*は、この躍層を越えて上層への移動ができなくなったと考えられる(Fig. 5, 6)。水温躍層が発達する季節に*S. elegans*の昼夜鉛直移動が抑制されることは、CONWAY and WILLIAMS (1986)によっても報告されている。

本研究では、*S. elegans*の昼夜鉛直移動について、以下に示す2つの未解決の問題が列挙される。(1)大和堆と富山湾では、*S. elegans*の成熟個体は昼夜鉛直移動をせず、未成熟個体(または小型個体)が昼夜移動を行っていたこと(Fig. 4, 9)。これは、いままでに報告されたことのない事例である。(2)2月の富山湾でStage Iの分布のピークが浅層と中層の2層に分かれて現れていたことである(二極化分布)。この2点について、各原因を解明するための十分なデータは、未だ得られていない。ただし、後者については、PEARRE (1979)が述べているように、個体レベルでの非同調的な鉛直移動、即ち、個体により移動開始時刻に遅早が起きている場合、サンプリングの頻度が少なかったことにより、一極集中分布のフェーズを見落としていた可能性も考えられる。この2点については、餌のカイアシ類の分布との関連、成熟段階やサイズの精密な査定、サンプリング方法の検討などを通じて、異なる側面から検討する必要がある。

本研究の結果をTable 2にまとめた。水温が19℃以上になると、*S. elegans*にとって致死的であるといわれていることから(TISELIUS and PETERSON 1986)、調査海域と調査時期を、表面水温が19℃を上回り成層が顕著になる場合(Strongly stratified)と、19℃を下回り成層が弱くなる場合(Weakly stratified)に分けた。また、ヤムシ類は各々の主分布深度から、表層性種と中層性種に分けた。*S. elegans*は北太平洋の亜寒帯水域では、典型的な表層種であるが(BIERI 1959; TERAZAKI 1993)、本研究を行った富山湾と大和堆では200 m以深に分布のピークがあることから、中層種とする。この表から、表層種のうち*S. minima*を除く2種は、表面水温が高く温度勾配が顕著な場合に昼夜移動を行い、温度勾配が緩やかな場合には昼夜移動を行わない傾向

Table 2. Characteristic features of the diel vertical distributions of the four chaetognaths in the Japan Sea. "Y"; positive evidence for diel migration, "N"; negative evidence, "—"; the species was absent or too few specimens were sampled to analyze, "?"; uncertain.

	Weakly Stratified		Strongly Stratified	
	Toyama Bay (Feb.)	Yamato Tai (June)	Yamato Tai (Aug.)	Yamato Tai (Oct.)
Epipelagic				
<i>Sagitta</i>	N	—	Y	Y
<i>S. enflata</i>	—	—	—	Y
<i>S. minima</i>	?	—	—	N
Mesopelagic				
<i>S. elegans</i>	Y	Y	N	N

が伺える。一方, *S. elegans*は, 表面水温が高く, 成層が顕著な場合には昼夜移動を行わず, 成層が弱い場合に移動を行う傾向がある。つまり, 日本海のヤムシ類の昼夜移動は, 種特有のパターンを示し, それは水温の鉛直分布の季節的特性(即ち, 水温躍層の発達度と表層の水温値)に影響されているといえよう。

文 献

ANDREU, P. (1992) Vertical migration of three coastal species of chaetognaths in the western Mediterranean Sea. *Sci. Mar.*, **56**, 367-372.

BIERI, R. (1959) The distribution of the planktonic Chaetognatha in the Pacific and their relationship to the water masses. *Limnol. Oceanogr.*, **4**, 1-28.

CONWAY, D. V. P. and WILLIAMS, R. (1986) Seasonal population structure, vertical distribution and migration of the chaetognath *Sagitta elegans* in the Celtic Sea. *Mar. Biol.*, **93**, 377-387.

GIBBONS, M. J. (1992) Diel feeding and vertical migration of *Sagitta serratotdentata* KROHN *tasmanica* THOMSON (Chaetognatha) in the southern Benguela. *J. Plankton Res.*, **14**, 249-259.

GIBBONS, M. J. and STUART, V. (1994) Feeding and vertical migration of the chaetognath *Sagitta friderici* (RITTER-ZAHONY, 1911) in the southern Benguela during spring 1987, with notes on seasonal variability of feeding ecology. *S. Afr. J. mar. Sci.*, **14**, 361-372.

KING, K. R. (1979) The life history and vertical distribution of the chaetognath, *Sagitta elegans*, in Dabob Bay, Washington. *J. Plankton Res.*, **1**, 153-167.

MOTODA, S. (1971) Devices of simple plankton apparatus. *V. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **22**, 101-106.

NAGASAWA, S. and MARUMO, R. (1975) Distribution of a chaetognath, *Sagitta nagae* ALVARINO in Suruga Bay, central Japan with notes on the zooplankton biomass. *Bull. Plankton Soc. Jap.*, **21**, 87-104.

PEARRE, S. Jr. (1973) Vertical migration and feeding in *Sagitta elegans* VERRILL. *Ecology*, **54**, 300-314.

PEARRE, S. Jr. (1979) Problems of detection and interpretation of vertical migration. *J. Plankton Res.*, **1**, 29-44.

STUART, V. and VERHEYE, H. M. (1991) Diel migration and feeding pattern of the chaetognath, *Sagitta friderici*, off the west coast of South Africa. *J. Mar. Res.*, **49**, 493-515.

TERAZAKI, M. (1993) Deep-sea adaptation of the epipelagic chaetognath *Sagitta elegans* in the Japan Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **98**, 79-88.

TERAZAKI, M. and MARUMO, R. (1979) Diurnal vertical migration of *Sagitta elegans* VERRILL in the western North Pacific Ocean. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **26**, 11-17.

TISELIUS, P. T. and PETERSON, W. T. (1986) Life history and population dynamics of the chaetognath *Sagitta elegans* in central Long Island Sound. *J. Plankton Res.*, **8**, 183-195.

ZO, Z. (1973) Breeding and growth of the chaetognath *Sagitta elegans* in Bedford Basin. *Limnol. Oceanogr.*, **18**, 750-756.