

Table 2. Review of studies reporting the use of otolith strontium for teleost fishes

Species	Relationships of Sr			References
	Vs. salinity	Vs. temperature	Vs. other	
Acipenseriformes				
<i>Acipenser guldenstadti</i>	Positive	ND	ND	Arai and Miyazaki, 2001
Anguilliformes				
<i>Anguilla anguilla</i>	Positive	ND	Physiological effects	Tzeng et al., 1997, 2000; Tsukamoto et al., 1998; Arai et al., 2000
<i>Anguilla japonica</i>	Positive (main factor)	Negative (minor factor)	Physiological effects	Otake et al., 1994; Tzeng and Tsai, 1994; Tzeng, 1996; Arai et al., 1997; Kawakami et al., 1998; Tsukamoto et al., 1998; Tsukamoto and Arai, 2001
<i>Anguilla rostrata</i>	Positive	ND	Physiological effects	Casselman, 1982; Arai et al., 2000
<i>Anguilla australis</i>	Positive	ND	Physiological effects	Arai et al., 1999d; Marui et al., 2001
<i>Anguilla dieffenbachii</i>	Positive	ND	Physiological effects	Marui et al., 2001
<i>Anguilla marmorata</i>	Positive	ND	Physiological effects	Arai et al., 1999b, 2001a, b, 2002a, b; Marui et al., 2001
<i>Anguilla celebesensis</i>	Positive	ND	Physiological effects	Arai et al., 1999b, 2001b; Marui et al., 2001
<i>Anguilla bicolor</i>	Positive	ND	Physiological effects	Arai et al., 1999b, c, 2001a, b; Marui et al., 2001
Clupeiformes				
<i>Alosa sapidissima</i>	Positive	ND	Diet effect	Limburg, 1995
<i>Clupea harengus</i>	ND	Negative	ND	Townsend et al., 1989, 1992; Radtke et al., 1990
Cypriniformes				
<i>Carassius auratus</i>	Positive	Mostly positive	Hormonal effect	Mugiya et al., 1991; Mugiya and Satoh, 1995; Mugiya and Tanaka, 1995
Salmoniformes				
<i>Hypomesus transpacificus nipponensis</i>	Positive	ND	ND	Katayama et al., 2000
<i>Plecoglossus altivelis</i>	Positive	ND	ND	Otake and Uchida, 1998
<i>Salvelinus alpinus</i>	Positive	ND	ND	Halden et al., 1995; Babaluk et al., 1997
<i>Oncorhynchus masou</i>	Positive	ND	ND	Arai and Tsukamoto, 1998
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Positive	ND	ND	Kalish, 1990
<i>Oncorhynchus nerka</i>	Positive	ND	ND	Rieman et al., 1994
<i>Oncorhynchus keta</i>	Positive	ND	ND	Arai and Miyazaki, 2002c
Gadiformes				
<i>Gadus morhua</i>	ND	Negative	ND	Radtke, 1984; Townsend et al., 1995
<i>Macruronus novaezelandiae</i>	ND	ND	Age effects	Kalish, 1989
<i>Pseudophysis barbatus</i>	ND	Negative	Physiological effects	Kalish, 1991

Table 2. (continued)

Species	Relationships of Sr			References
	Vs. salinity	Vs. temperature	Vs. other	
Cyprinodontiformes				
<i>Fundulus heteroclitus</i>	ND	Inverse relationship	ND	Radtke, 1989
Perciformes				
<i>Arripis trutta</i>	ND	Slight positive correlation	Age/growth effects	Kalish, 1989
<i>Epinephelus guttatus</i>	ND	No effect	Growth effect	Sadovy and Severin, 1994
<i>Girella elevata</i>	ND	Equivocal temperature effect	Age effect	Gallahar and Kingsford, 1992
<i>Haemulon plumieri</i>	Highly variable	Negative	Growth effect	Sadovy and Severin, 1992
<i>Micropogonias undulatus</i>	Positive	ND	ND	Fowler et al., 1995a, b; Thorrold et al., 1997
<i>Morone saxatilis</i>	Positive (main factor)	Minor effect	Growth effect	Secor, 1992; Secor et al., 1995; Secor and Piccoli, 1996
<i>Oreochromis noluticus</i>	Positive (main factor)	ND	Diet effect	Farrella and Campana, 1996
<i>Pagrus major</i>	ND	Positive	ND	Arai et al., 1995
<i>Pristipomoides filamentosus</i>	ND	Negative relationship suggested	ND	Radtke, 1987
<i>Sciaenops ocellatus</i>	No effect	Positive	Age/sex effect	Hoff and Fuiman, 1993, 1995
<i>Stenogobius genivittatus</i>	Negative relationship suggested	ND	ND	Radtke et al., 1988
<i>Lentipes concolor</i>	Positive	ND	ND	Radtke and Kinzie, 1996
<i>Thunnus thynnus</i>	ND	Negative correlation suggested	ND	Radtke and Morales-Nin, 1989
Pleuronectiformes				
<i>Microstomus pacificus</i>	ND	ND	ND	Toole et al., 1993

ND=not determined.

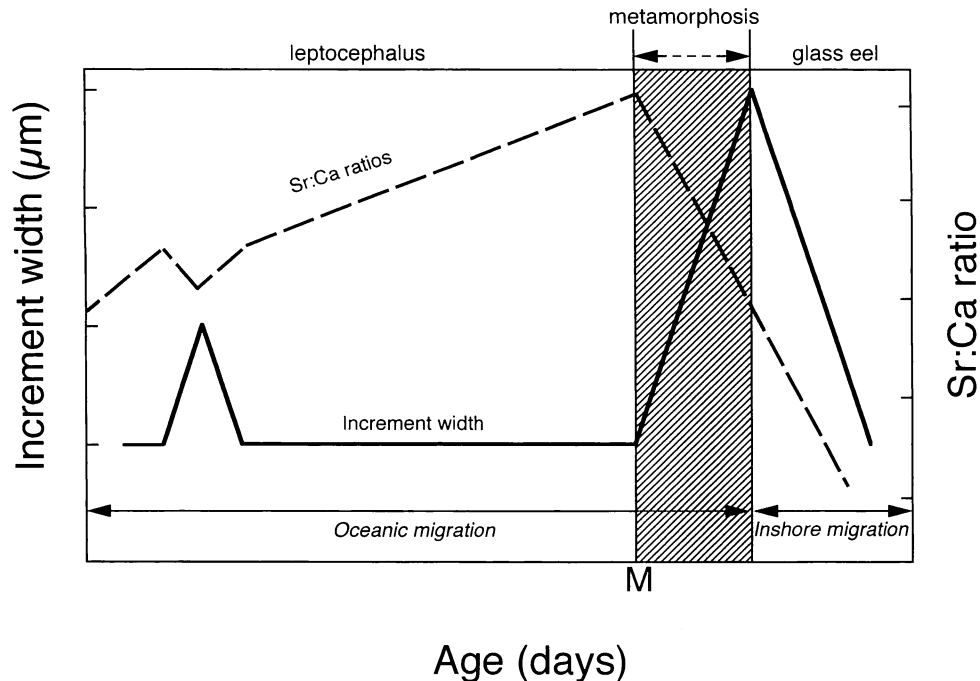


Fig. 6. Conceptual model showing changes in otolith incremental widths and Sr:Ca ratios during the early life history of *Anguilla* spp. with special reference to the timing of metamorphosis and migration. Solid and broken lines represent increment widths and Sr:Ca ratios, respectively. Age at M indicates the timing of metamorphosis (after Arai et al., 1997, 2001b).

る (Table 2). この手法によって接岸回遊や降河回遊に関する知見が集積され回遊の謎が解明されつつある。ウナギ属の変態開始時期や変態期間を正確に把握することは、ウナギ属の回遊機構を理解するうえで極めて重要である。ウナギ属の仔稚魚の耳石のSr:Ca比は変態と関係して顕著な変化を示すことから、耳石輪紋解析による日齢査定と組み合わせることによって、変態開始時期や変態期間の特定に有効であることが明らかになった (Otake et al., 1994; Arai et al., 1997; Arai et al., 2001a). Arai et al. (1997; 2001a) は、外洋で採集されたウナギ属3種 (*Anguilla japonica*, *A. celebesensis*, *A. marmorata*) の仔魚 (leptocephalus) と稚魚 (glass eel) の耳石微細構造とSr:Ca比の解析を行った。変態直前の最大伸長期の個体を含む仔魚 (レプトケファルス) の耳石には、河口に接岸直後の稚魚 (シラスウナギ) に存在する縁辺部における輪幅の急増とSr:Ca比の急減は認められなかった (Fig. 6). これにより、輪幅が急増し、これと一致してSr:Ca比の急減する時期は変態期に相当することが明らかにされた。さらに一部の個体では耳石輪幅が最大に達した直後、あるいは最大に達する以

前に接岸することから、変態は輪幅が最大に達したとき、あるいはその直前に完了することが示唆された (Fig. 6). この研究は、これまで統一した見解が得られていなかったウナギ属の変態期を正確に把握するための解析法を明示しただけではなく、ウナギ属の回遊機構や分布を理解するうえで多大な役割を果たした。この解析手法は、前述の3種に限らず他のウナギ属にも応用され、その回遊機構が解明されつつある (Wang and Tzeng, 1998, 2000; Arai et al., 1999 b, c, d, 2000, 2002a, b; Marui et al., 2001).

Arai et al. (2001b) は、この手法を世界各地に接岸したシラスウナギについて適用し、ウナギ属の回遊生態と回遊の進化過程を論じた。ウナギ属18種群の産卵場はすべて熱帯域に位置している (Schmidt, 1925; Tsukamoto, 1992). これらのことからウナギ属は熱帯域に起源したと推測されている (塚本, 1994; Tsukamoto and Aoyama, 1998). 特に西部太平洋熱帯域のインドネシアには、*A. celebesensis*, *A. interioris*, *A. nebulosa nebulosa*, *A. marmorata*, *A. borneensis*, *A. bicolor bicolor*, *A. bicolor pacifica* の7種が分布しており、ウナギ属の発祥の

地と考えられている (Ege, 1939; 松井, 1972; Tesch, 1977). したがって, ウナギ属の祖先種は現在の熱帯ウナギ (熱帯域に生息するウナギ属) に近い回遊生態を備えていたものと推測される. それは周年産卵 (Arai et al., 2001b) による周年接岸 (Arai et al., 1999a; Sugeha et al., 2001), また周年を通じ一定した仔魚の発育スケジュールを持っていたと考えられる (Arai et al., 2001b). ウナギ属のレプトケファルス期間は3~9カ月と推定されている (Arai et al., 1997, 1999 b, c, d, 2000; Wang and Tzeng, 1998; Marui et al., 2001). 同じウナギ目 Anguilliformes のマナゴ *Conger myriaster* ではレプトケファルス期は4~8カ月で (Lee and Byun, 1996; Otake et al., 1997), ウナギ属のそれと大きく変わらない. しかしカライワシ目 Elopiformes のイセゴイ *Megalops cyprinoides* では, そのレプトケファルス期は1カ月である (塚本・沖山, 1993). また他の魚類の仔魚期間について見ると, 概ね2週間~2カ月と短い (新井, 2000). レプトケファルス期を持つウナギ目は他の魚類に比べて著しく長い仔魚期間を有する魚類であると考えられる. したがって, ウナギ属はこのゆっくりした発育速度と海流や風による受動的輸送過程によって, その分布域をインドネシアからほぼ全地球規模に広げることができたと考えられる. 海流系の年変動や個体毎の初期発育速度のわずかな変異は, 輸送期間や経路の変化をもたらすウナギ属の接岸・分布範囲を拡大させたと考えられる. こうして長い仔魚期間を利用して長距離の回遊を可能にしたのが温帯ウナギ (温帯域に生息するウナギ属) であり, 産卵場を熱帯域に残したまま接岸 (成育) 場を温帯域へと拡大したと考えられる. 熱帯ウナギの変態・接岸日齢が温帯ウナギに比べて小さいという事実は (Arai et al., 2001b), 回遊距離とその所要時間が必ずしも比例しないとしても, 温帯ウナギの数千キロに及ぶ大回遊に対し, 熱帯ウナギがせいぜい数百キロ程度の小規模な局地的回遊を行っていることを強く示唆する. さらに, ウナギ属の祖先種が現在の熱帯ウナギに近いという事実は, ウナギ属の回遊生態が熱帯ウナギの局地的な小規模回遊から始まって現在の温帯ウナギの大規模回遊へと進化してきたことを示している (Arai et al., 2001b).

Tsukamoto et al. (1998) は, 産卵回遊中のヨーロッパウナギ *A. anguilla* とウナギの耳石のSr分布を調べ, これまで常識的に考えられてきたウナギ属の回遊の原則を大きく覆す結果を明示した. ウナギ属は降河回遊魚に分類される (McDowall,

1988). したがって, 耳石Sr濃度は, レプトケファルスからシラスウナギに至る海洋生活期に相当する耳石の中心部分は高く, シラス期以降に相当するその外側部分は低くなるはずである. しかしながら調べた中で, 耳石の中心から最外縁に至るまで一貫してSr濃度が高い個体が数多く存在した. すなわち, 一生を海で過ごし, 通し回遊を行わない「海ウナギ (sea eel)」の存在である. そして, 海で採集されたウナギがすべて海で一生を過ごした個体であったという事実から, ウナギ属の繁殖はむしろこのような海ウナギが支えていることが示唆された. 近年激減の一途を辿るウナギ資源の管理と保全対策を構築するうえで重要な生物学的基礎知見を提示したといえる. さらに, Tsukamoto and Arai (2001) によるウナギの耳石Sr:Ca比の研究から, 一生のうちに複数回にわたり海水 (汽水) と淡水を往き来する河口ウナギ (estuarine eel) の存在も明らかにされている. Gross et al. (1988) のように回遊が淡水域と海域の生産力の傾斜によって生じたとすれば, サケ・マス類で南へ行くほど河川残留型が増加するのと対照的に, ウナギ属の場合にはより高緯度に生息する個体群ほど海ウナギが多く出現するはずである. さらに河口ウナギの出現は, 降河回遊型のウナギと海ウナギの中間に位置するものと考えられる. 高緯度域は河川に比べ海洋の生産力のほうが高いので, 必ずしも遡河することが有利にはならないからである.

板鰓類 (軟骨魚類) では硬骨魚類と異なり, 内耳の耳胞内に平衡砂と呼ばれる微細な炭酸カルシウムの結晶粒子が無数に含まれている (Carlström, 1963). したがって, 板鰓類の平衡砂は耳石と異なって日周輪や年齢が形成されないため, 齢と対応させた詳細な履歴解析は難しい. しかし淡水域と海水域とにまたがって生活する広塩性の板鰓類の平衡砂に含まれるストロンチウム濃度, あるいはSr:Ca比は狭塩性の海産種や淡水種と異なり, その個体が生活したそれぞれの環境の期間の長さに応じて増加していた (大竹, 1999). 平衡砂の微量元素特性は, 板鰓類をはじめ軟骨魚類全般の回遊履歴解析に有効な指標であることを示唆している. しかしながら, 平衡砂の形成機構や微量元素の沈着機構については全く不明である. 今後, 平衡砂を回遊履歴の研究に広く利用するためには, 平衡砂に関するこれらの生理学的・生化学的研究が必要であり, この方面の研究の進展が望まれる.

これまで無負荷型記録標識を用いた回遊履歴の解析手法として耳石を中心に論じてきた. 勿論,

解析手法はこれだけではない。近年、チョウザメ属 *Acipenser* の胸鱗棘の Sr 濃度や Sr:Ca 比から回遊履歴の復元を試みた研究もある (Veinott et al., 1999; Arai et al., in press). Arai et al. (in press) は、ロシアチョウザメ *Acipenser guldenstadti* の胸鱗棘の Sr:Ca 比の変化が耳石の Sr:Ca 比の変化 (Arai and Miyazaki, 2001) と対応することから、胸鱗棘も耳石同様に回遊履歴の復元に適用できることを明示した。この結果から、ロシアチョウザメが、一生のうちに複数回にわたり産卵する可能性が示唆された。棘は耳石と異なり、殺生せずに採集できる利点がある。また、採集は鱗と同様に簡便である。したがって、耳石による解析が難しい軟骨魚類や、大型の硬骨魚類の回遊研究に好都合であると考えられる。しかしながら、現時点では棘の形成や微量元素の取り込み機構など不明な点がある。今後、これまで耳石で行われてきた飼育実験などを通じた環境水との対応関係を棘についても実施して確かめることにより、魚類の回遊履歴研究に対してさらなる成果がもたらされるであろう。

特殊な遺伝子型を標識として用い、これを特異的に持つ集団を野外に放流する遺伝マーカー法も卵や仔稚魚に適應できる数少ない標識法の一つとして考えられている (佐藤ほか, 1982; 谷口・高橋, 1989; Utter and Seeb, 1990)。この手法は世代を越えて標識を追跡でき、他の手法にはない利点がある。しかし半面、特異な遺伝子をもつ標識魚を大量に野外に放流するので、交雑が天然魚の遺伝子組成に与える影響を考えなければならないであろう。

今後の展望

回遊履歴の解析手法にはそれぞれに一長一短がある。大容量の超小型データロガーが開発され、現場から直接情報が得られることにより、多くの研究が進んでいる。データロガーを用いたこれまでの調査は、詳細な回遊行動の記録を得ることを主眼として、比較的短期間のデータを得るに留まっている。データの記録間隔を拡げるか、搭載するメモリの容量を増やすことによって、より長期間の回遊行動の記録が取得可能になると考えられる。さらに魚の位置情報に関する技術開発が進めば、3次元の回遊行動の追跡も可能になるであろう。

データロガーによる解析によって新たな疑問が抽出される場合もある。これまでの研究では、魚の遊泳運動や行動特性が検討されていなかったり、

潮流の利用がどれほど回遊行動のエネルギーの軽減に貢献しているかは不明である。これらの疑問に答えるためには、着実に調査事例数を増やすことが望まれる。また、新たな機能を持つデータロガーが必要になることもあろうし、他の方法で得られた知見がその疑問を解く鍵になるかもしれない。個体別の回遊行動を取得したい場合、データロガーは詳細な情報を提供してくれるであろう。魚類の回遊行動を解明するに当たっては、個体行動だけではなく群としての行動を明確にする必要がある。しかし系群の回遊情報を得るためには、現状では標識票などを用いた通常の標識放流調査の併用と補完が必要であろう。

魚類を含め、いくつかの大回遊をする生物の回遊機構や、その経路が明らかにされ始めているが、そこで用いられているのはほとんどがバイオテレメトリーの手法である。他の方法では、水平位置に関する情報が時系列に取得できないためであろう。大規模に回遊する生物の定位機構を明らかにするためには、地磁気 (Lohmann and Lohmann, 1996)、太陽光・星座 (Able and Able, 1996)、海流・潮流 (Metcalf et al., 1993) の影響など、検証しなければならない環境要因がいくつもある。回遊と環境との関係を解明するための研究は始まったばかりといえよう。行動追跡の労力や追跡期間の点でデータロガーには劣るものの、今後も回遊研究の分野にはバイオテレメトリーの手法が数多く導入されていくものと思われる。

仔稚魚のような小型の生物の回遊研究には、硬組織を用いた微量元素特性の解析が有効な手段であろう。特に耳石による日周輪解析と組み合わせれば、日単位での回遊行動を追跡できるだろう。しかし近年、さまざまな魚種で耳石には日周輪が形成されているものと仮定し、耳石輪紋の日周性の証明をすることなく、耳石を生態研究に利用する例が多い。日周性の確認や日齢査定法・輪紋解析法の確立を十分に行なったうえで、その魚の生態解明に耳石を適用すべきである。魚種ごとに、そして可能であれば成長段階ごとに、いくつかの水溫、溫度環境などを変えた条件下で飼育し、耳石 Sr:Ca 比と環境要因との関係を調べ、換算表を作ることも必要である。データロガーが装着できるほどの大きさの魚あるいは成長段階であれば、データロガーと硬組織の微量元素特性の解析の併用が有効であろう (Fig. 7)。データロガーが取得した環境情報と硬組織が記録した環境情報とが対応できれば、より自然環境に近い換算表が作成でき

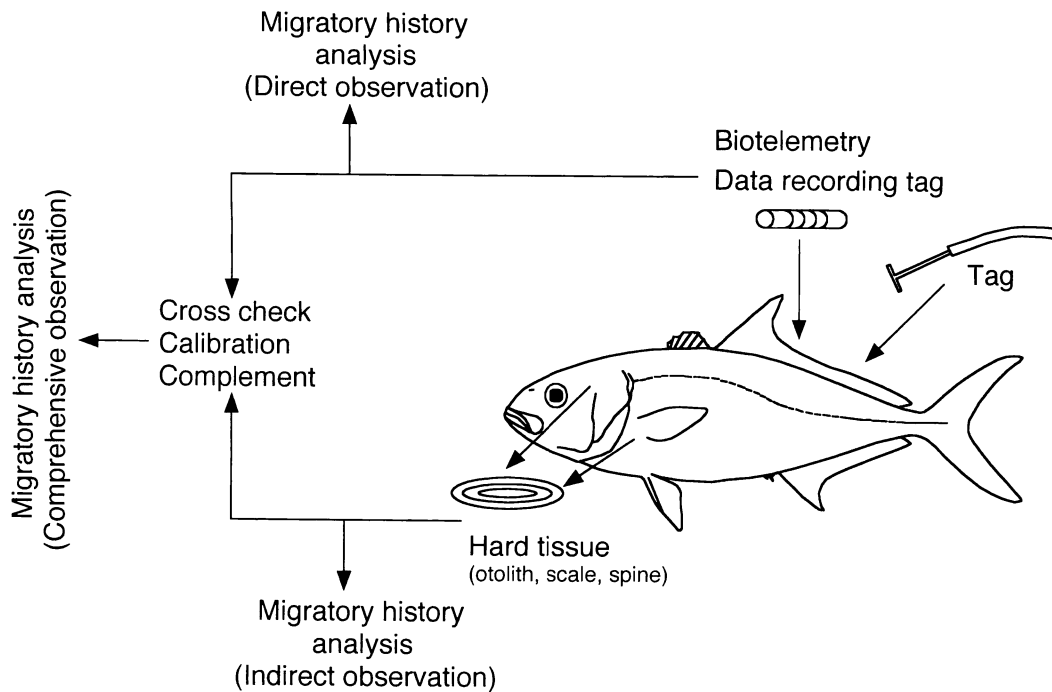


Fig. 7. Overview of the analysis of migratory history of fishes in previous, present and future works.

る。これをもとに、硬組織からより正確な回遊履歴が復元されるに違いない。また、ある魚種の全生活史にわたる回遊履歴を復元するためには、成長段階ごとに適した解析手法を用いて補完し、総合的に解析することが必要である (Fig. 7)。

今後、さらに多様な解析手法の開発や既往の解析手法の改良が期待され、魚類の回遊に関する知見が集積されるであろう。これらの知見は、魚類、さらには脊椎動物における生活史進化や種分化の過程と要因を究明する上で重要な生物学的知見を提供するであろう。一方、回遊経路などが明らかにされれば、適正漁獲量 (Total Allowable Catch, TAC) を決定する際にも重要な情報となるので、今後ますますこの分野の関心が高まると考えられる。水産資源の長期変動とレジームシフト (地球規模の気候—生態系の変動)、環境変動の生物応答、資源変動は環境もしくは漁獲によるのかなど多くの課題が山積みされている。これらの問題を解決するためにも、従来からのデータ解析や歴史的資料解析に基づいて資源変動要因に目途を付けたうえで、回遊履歴の解析手法を活用した綿密な調査研究計画を構築することが必要である。

謝 辞

本稿の執筆を強く奨めてくださった北海道大学大学院水産科学研究科の後藤晃助教授に深く感謝いたします。本稿をまとめるにあたり、これまで数多くのご教示をいただいた東京大学海洋研究所の塚本勝巳教授に心から御礼申し上げます。東京大学海洋研究所の宮崎信之教授には有益な助言をいただいた。東京大学海洋研究所の Michael J. Miller 博士には英文を校閲していただいた。また、東京大学海洋研究所の大地まどか氏には文献整理に協力いただいた。ここに心から感謝の意を表したい。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金奨励研究 A (13760138) によって行なわれた。

引用文献

- Able, K. P. and M. A. Able. 1996. The flexible migratory orientation system of the savannah sparrow (*Passerculus sandwichensis*). *J. Exp. Biol.*, 199: 3–8.
- Aoyama, J., K. Hissmann, T. Yoshinaga, S. Sasai, T. Uto and H. Ueda. 1999. Swimming depth of migrating silver eels *Anguilla japonica* released at seamounts of the West Mariana Ridge, their estimated spawning sites. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 186: 265–269.
- Arai, N., W. Sakamoto and K. Maeda. 1995. Analysis of trace elements in otoliths of Red Sea bream *Pagrus major*.

- Fish. Sci., 61: 43–47.
- 新井崇臣. 2000. スラウェシ島におけるウナギ属魚類の接岸回遊生態に関する研究. 博士論文, 東京大学, 127 pp.
- Arai, T., T. Otake and K. Tsukamoto. 1997. Drastic changes in otolith microstructure and microchemistry accompanying the onset of metamorphosis in the Japanese eel *Anguilla japonica*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 161: 17–22.
- Arai, T. and K. Tsukamoto. 1998. Application of otolith Sr:Ca ratios to estimate the migratory of masu salmon, *Oncorhynchus masou*. Ichthyol. Res., 45: 309–313.
- Arai, T., J. Aoyama, D. Limbong and K. Tsukamoto. 1999a. Species composition and inshore migration of the tropical eels, *Anguilla* spp., recruiting to the estuary of the Poigar River, Sulawesi Island. Mar. Ecol. Prog. Ser., 188: 299–303.
- Arai, T., D. Limbong, T. Otake and K. Tsukamoto. 1999b. Metamorphosis and inshore migration of tropical eels, *Anguilla* spp., in the Indo-Pacific. Mar. Ecol. Prog. Ser., 182: 283–293.
- Arai, T., T. Otake, D. Limbong and K. Tsukamoto. 1999c. Early life history and recruitment of the tropical eel, *Anguilla bicolor pacifica*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. Mar. Biol., 133: 319–326.
- Arai, T., T. Otake, D. J. Jellyman and K. Tsukamoto. 1999d. Differences in the early life history of the Australasian shortfinned eel, *Anguilla australis* from Australia and New Zealand, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. Mar. Biol., 135: 381–389.
- Arai, T., T. Otake and K. Tsukamoto. 2000. Timing of metamorphosis and larval segregation of the Atlantic eels *Anguilla rostrata* and *A. anguilla*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. Mar. Biol., 137: 39–45.
- Arai, T., J. Aoyama, S. Ishikawa, M. J. Miller, T. Otake, T. Inagaki and K. Tsukamoto. 2001a. Early life history of tropical *Anguilla leptocephali* in the western Pacific Ocean. Mar. Biol., 138: 887–895.
- Arai, T., D. Limbong, T. Otake and K. Tsukamoto. 2001b. Recruitment mechanisms of tropical eels, *Anguilla* spp. and implications for the evolution of oceanic migration in the genus *Anguilla*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 216: 253–264.
- Arai, T. and N. Miyazaki. 2001. Use of otolith microchemistry to estimate the migratory history of the Russian sturgeon, *Acipenser guldenstadti*. J. Mar. Biol. Ass. UK., 81: 709–710.
- Arai, T., M. Marui, M. J. Miller and K. Tsukamoto. 2002a. Growth history and inshore migration of the tropical eel, *Anguilla marmorata* in the Pacific. Mar. Biol., 140: 309–316.
- Arai, T., M. Marui, T. Otake and K. Tsukamoto. 2002b. Inshore migration of a tropical eel, *Anguilla marmorata*, from Taiwanese and Japanese coasts. Fish. Sci., 68: 152–157.
- Arai, T. and N. Miyazaki. 2002c. Analysis of otolith microchemistry of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, collected in Otsuchi Bay, northeastern Japan. Otsuchi Mar. Sci., 27: 13–16.
- Arai, T., A. V. Levin, A. N. Boltunov and N. Miyazaki. in press. Migratory history of the Russian sturgeon *Acipenser guldenstadti* in the Caspian Sea, as revealed by pectoral fin spine Sr:Ca ratios. Mar. Biol.
- Babaluk, J. A., N. M. Halden, J. D. Reist, A. H. Kristofferson, J. L. Campbell and W. J. Teesdale. 1997. Evidence for non-anadromous behavior of arctic charr (*Salvelinus alpinus*) from Lake Hazen, Ellesmere Island, Northwest Territories, Canada, based on scanning proton microprobe analysis of otolith strontium distribution. Arctic, 50: 224–233.
- Baker, R. R. 1978. The evolutionary ecology of animal migration. Hodder & Stoughton, London, UK. 1012 pp.
- Bayliff, W. H. 1980. Synopsis of biological data on the northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), in the Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Spec. Rep., 2: 261–293.
- Block, B. A., H. Dewar, C. Farwell and E. D. Prince. 1998a. A new satellite technology for tracking the movement of Atlantic bluefin tuna. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 95: 9384–9389.
- Block, B. A., H. Dewar, T. Williams, E. D. Prince, C. Farwell and D. Fudge. 1998b. Archival tagging of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*). Mar. Technol. Soc. J., 32: 37–46.
- Boehlert, G. W. 1997. Application of acoustic and archival tags to assess estuarine, nearshore, and offshore habitat utilization by salmonids: Introduction and objectives of the workshop. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC, 236: 1–6.
- Bres, M. 1993. The behaviour of sharks. Rev. Fish Biol. Fish., 3: 133–159.
- Brill, R. W., D. B. Holts, R. K. Chang, S. Sullivan, H. Dewar and F. G. Carey. 1993. Vertical and horizontal movements of striped marlin (*Tetrapturus audax*) near the Hawaiian Islands, determined by ultrasonic telemetry, with simultaneous measurement of oceanic currents. Mar. Biol., 117: 567–574.
- Carlström, D. 1963. A crystallographic study of vertebrate otoliths. Biol. Bull., 125: 441–463.
- Casey, J. G. and Kohler N. E. 1991. Long distance movements of Atlantic sharks from the NMFS cooperative shark tagging program. Pages 87–91 in S. H. Gruber, ed. Discovering sharks. Amer. Lit. Soc. Highland.
- Casey, J. G. and Kohler N. E. 1992. Tagging studies on the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the western North Atlantic. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 43: 45–60.
- Casselmann, J. M. 1982. Chemical analysis of the optically different zones in eel otolith. Pages 74–82 in Proceedings of the 1980 North American Eel Conference.
- Courtney, D. L., D. G. Mortensen, J. A. Orsi and K. M. Munk. 2000. Origin of juvenile Pacific salmon recovered from coastal southeastern Alaska identified by otolith thermal marks and coded wire tags. Fish. Res., 46: 267–278.
- Dorst, J. 1961. The migrations of birds. Heinemann, London, UK. 388 pp.
- Doving, K. B., H. Westerberg and P. B. Johusen. 1985. Role of olfaction in the behavioral and neuronal responses of Atlantic salmon, *Salmo salar*, to hydrographic stratifica-

- tion. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 1658–1667.
- Ege, V. 1939. A revision of the Genus *Anguilla* Shaw. Dana Rep., 16: 8–256.
- Farrell, J. and S. E. Campana. 1996. Regulation of calcium and strontium deposition on the otolith of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Comp. Biochem. Physiol., 115: 103–109.
- Fowler, A. J., S. E. Campana, C. M. Jones and S. R. Thorold. 1995a. Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental composition of otolith using solution-based ICPMS. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52: 1421–1430.
- Fowler, A. J., S. E. Campana, C. M. Jones and S. R. Thorold. 1995b. Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental composition of otolith using laser ablation ICPMS. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52: 1431–1441.
- Friedland, K. D., R. V. Walker, N. D. Davis, K. W. Myers, G. W. Boehlert, S. Urawa and Y. Ueno. 2001. Open-ocean orientation and return migration routes of chum salmon based on temperature data from data storage tags. Mar. Ecol. Prog. Ser., 216: 235–252.
- Gallahar, N. K. and M. J. Kingsford. 1992. Patterns of increment width and strontium:calcium ratios in otoliths of juvenile rock blackfish, *Girella elevata* (M.). J. Fish Biol., 41: 749–763.
- 後藤 晃. 1996. 通し回遊魚の適応戦略と種分化様式. 月刊海洋, 28: 286–293.
- Griffin, D. R. 1952. Radioactive tagging of animals under natural conditions. Ecology, 33: 329–335.
- Gross, M. R. 1987. Evolution of diadromy in fishes. Pages 14–25 in M. J. Dadswell, R. J. Klauda, C. M. Moffitt, R. L. Saunders and R. A. Rulifson, eds. Common strategies of anadromous and catadromous fishes, Vol. 1. Am. Fish. Soc. Symp.
- Gross, M. R., R. M. Coleman and R. M. McDowall. 1988. Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. Science, 239: 1291–1293.
- Gunn, J. S., J. D. Steevens, T. L. O. Davis and B. M. Norman. 1999. Observation on the short-term movements and behaviour of whale sharks (*Rhincondon typus*) at Ningaloo Reef, Western Australia. Mar. Biol., 135: 553–559.
- Halden, N. M., J. A. Babaluk, J. I. Campbell and W. J. Teesdale. 1995. Scanning proton microprobe analysis of strontium in an arctic charr, *Salvelinus alpinus*, otolith- implications for the interpretation of anadromy. Env. Biol. Fish., 43: 333–39.
- Harden-Jones, F. R. 1968. Fish migration. Arnold, London, UK. 325 pp.
- Hasler, A. D. 1971. Orientation and fish migration. Pages 429–510 in W. S. Holar and D. J. Randall, eds. Fish physiology. Vol. 6. Academic Press, London, UK.
- Hasler, A. D. and A. T. Scholz. 1983. Olfactory imprinting and homing in salmon, Springer-Verlag, Berlin, Germany. 134 pp.
- Henderson, H. F., A. D. Hasler and G. G. Chipman. 1966. An ultrasonic transmitter for use in studies of movements of fishes. Trans. Am. Fish. Soc., 95: 350–356.
- Hoff, G. R. and L. A. Fuiman. 1993. Morphometry and composition of red drum otolith: changes associated with temperature, somatic growth rate, and age. Comp. Biochem. Physiol., 106: 209–219.
- Hoff, G. R. and L. A. Fuiman. 1995. Environmentally induced variation in elemental composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) otolith. Bull. Mar. Sci., 56: 578–591.
- Holland, K., R. W. Brill and R. K. C. Chang. 1990. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregation devices. Fish. Bull. U. S., 88: 493–507.
- Ichii, T. and Y. Mugiya. 1983. Comparative aspects of cal goldfish *Carassius auratus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 49: 1039–1044.
- Inagake, D., H. Yamada, K. Segawa, M. Okazaki, A. Nitta and T. Itoh. 2001. Migration of young bluefin tuna, *Thunnus orientalis* Temminck et Schlegel, through archival tagging experiments and its relation with oceanographic condition in the Western North Pacific. Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish., 38: 53–81.
- 岩井 保. 1995. 海洋資源生物学序説. 恒星社厚生閣. 東京. 126 pp.
- Johunson, J. K. 1990. Regional overview of coded wire tagging of anadromous salmon and steelhead in Northwest America. Pages 782–816 in N. C. Parker, A. E. Giorgi, R. C. Heidinger, D. B. Jester Jr., E. D. Prince and G. A. Winans, eds. Fish-marking techniques. Vol. 7. Am. Fish. Soc. Symp.
- Jones, B. C. and G. H. Geen. 1976. Taxonomic reevaluation of the spiny dogfish (*Squalus acanthias* L.) in the north-eastern Pacific Ocean. J. Fish. Res. Board Can., 33: 2500–2506.
- Kalish, J. M. 1989. Otolith microchemistry: validation of the effects of physiology, age and environment on otolith composition. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 132: 151–178.
- Kalish, J. M. 1990. Use of otolith microchemistry to distinguish progeny of sympatric anadromous and non-anadromous salmonids. Fish. Bull. U. S., 88: 657–666.
- Kalish, J. M. 1991. Determinants of otolith chemistry: seasonal validation in the composition of blood plasma, endolymph and otoliths of bearded rock cod *Pseudophycis barbatus*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 74: 137–159.
- Kasai, A., W. Sakamoto, Y. Mitsunaga and S. Yamamoto. 2000. Behaviour of immature yellowtails (*Seriola quinqueradiata*) observed by electronic data-recording tags. Fish. Oceanogr., 9: 259–270.
- 笠井亮秀・坂本 亘・光永 靖・山本章太郎. 1998. マイクロデータロガーによるイナダの遊泳行動解析. 日本水産学会誌, 64: 197–203.
- Katayama, S., R. L. Radtke, M. Omori and D. Shafer. 2000. Coexistence of anadromous and resident life history styles of pond smelt, *Hypomesus nipponis*, in Lake Ogawara, Japan, as determined by analysis of otolith structure and strontium: calcium ratios. Environ. Biol. Fish., 58: 195–201.
- Kawakami, Y., N. Mochioka, K. Morishita, H. Toh and A .

- Nakazono. 1998. Determination of the freshwater mark in otoliths of Japanese eel elvers using microstructure and Sr/Ca ratios. *Env. Biol. Fish.*, 53: 421–427.
- Kennedy, B. P., C. L. Folt, J. D. Blum and C. P. Chamberlain. 1997. Natural isotope markers in salmon. *Nature*, 387: 766.
- Kitagawa, T., H. Nakata, S. Kimura, T. Itoh, S. Tsuji and A. Nitta. 2000. Effect of ambient temperature on the vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 206: 251–260.
- Kitagawa, T., H. Nakata, S. Kimura and S. Tsuji. 2001. Thermoconservation mechanism inferred from peritoneal cavity temperature recorded in free swimming Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 220: 253–263.
- Krimlley, A. P. 1993. Highly directional swimming by scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini* and subsurface irradiance, temperature, bathymetry and geomagnetic field. *Mar. Biol.*, 117: 1–22.
- Lee, T. W. and J. S. Byun. 1996. Microstructural growth in otoliths conger eel (*Conger myriaster*) leptocephali during the metamorphic stage. *Mar. Biol.*, 125: 259–268.
- Leggett, W. C. 1977. The ecology of fish migrations. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 8: 285–308.
- Limburg, K. E. 1995. Otolith strontium traces environmental history of subyearling American shad *Alosa sapidissima*. *Mar. Eco. Prog. Ser.*, 119: 25–35.
- Lohmann, K. J. and C. M. F. Lohmann. 1996. Detection of magnetic field intensity by sea turtles. *Nature*, 380: 59–61.
- Lutcavage, M. E., R. W. Brill, G. B. Skomal, B. C. Chase and P. W. Howey. 1999. Results of pop-up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: Do North Atlantic bluefin tuna spawn in the mid-Atlantic? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 173–177.
- 町中 茂. 1977. バイオ・テレメトリー・システムによるブリの行動生態に関する研究. *海洋科学*, 9: 20–26.
- Marcinek, D. J., S. B. Blackwell, H. Dewer, E. V. Freund, C. Farwell, D. Dau, A. C. Seitz and B. A. Block. 2001. Depth and muscle temperature of Pacific bluefin tuna examined with acoustic and pop-up satellite archival tag. *Mar. Biol.*, 138: 869–885.
- Marui, M., T. Arai, M. J. Miller, D. J. Jellyman and K. Tsukamoto. 2001. Comparison of early life history between New Zealand temperate eels and Pacific tropical eels revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 213: 273–284.
- 松井 魁. 1972. 鰻学. (生物学的研究編). 恒星社厚生閣, 東京. 283 pp.
- McDowall, R. M. 1987. The occurrence and distribution of diadromy among fishes. Pages 1–13 in M. J. Dadswell, R. J. Klauda, C. M. Moffitt, R. L. Saunders and R. A. Rulifson, eds. *Common strategies of anadromous and catadromous fishes*, Vol. 1. *Am. Fish. Soc. Symp.*
- McDowall, R. M. 1988. *Diadromy in fishes*. Croom Helm, London, UK. 308 pp.
- Metcalfe, J. D. and G. P. Arnold. 1997. Tracking fish with electric tag. *Nature*, 387: 665–666.
- Metcalfe, J. D., B. H. Holford and G. P. Arnold. 1993. Orientation of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the open sea: evidence for the use of external directional clues. *Mar. Biol.*, 117: 559–566.
- Miller, M. J. and K. W. Able. 2002. Movements and growth of tagged young-of-the-year Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus* L.) in restored and reference marsh creeks in Delaware Bay, USA. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 267: 15–33.
- Mugiya, Y. and C. Satoh. 1995. Strontium-calcium ratios change corresponding to microincrements in otolith of the goldfish *Carassius auratus*. *Fish. Sci.*, 61: 361–362.
- Mugiya, Y. and S. Tanaka. 1995. Incorporation of waterborne strontium into otoliths and its turnover in the goldfish *Carassius auratus*: effects of strontium concentrations, temperature, and 17 β -Estradiol. *Fish. Sci.*, 61: 29–35.
- 村山秀男. 1977. 新潟県(両津湾)におけるブリの移動について. *海洋科学*, 9: 27–40.
- Myers, G. S. 1949. Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. *Copeia*, 1949: 89–97.
- 内藤靖彦. 1997. マイクロデータロガーの現状. *月刊海洋*, 29: 137–141.
- Naito, Y., H. Tanaka and H. Ueda. 2000. Preliminary report of swimming behavior and the response to temperature of lacustrine masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort, monitored by data logger during the spawning migration in Lake Toya. *Polar Biosci.*, 13: 87–94.
- 中村良成・桑田 博. 1994. アリザリン・コンプレキソンによる稚魚への大量標識法における鱗からの標識検出法の検討. *栽培漁業技術開発研究*. 23: 53–60.
- 梨田一也. 1997. マイクロデータロガーによるヒラメの行動解析. *月刊海洋*, 29: 149–153.
- Nelson, D. R. 1990. Telemetry studies of sharks: A review, with applications in resource management. *NOAA Tech. Rep. NMFS*. 90: 211–237.
- Ogura, M. 1997. Acoustic and archival tagging work on salmonids in Japan. *NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC*, 236: 16–27.
- 大竹二雄. 1999. 淡水産板鰓類の淡水適応と平衡砂のSr:Ca比. *月刊海洋*, 16: 173–172.
- Otake, T., T. Ishii, M. Nakahara and R. Nakamura. 1994. Drastic changes in otolith strontium/calcium ratios in leptocephali and glass eels of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 112: 189–193.
- Otake, T., T. Ishii, T. Ishii, M. Nakahara and R. Nakamura. 1997. Changes in otolith strontium:calcium ratios in metamorphosing *Conger myriaster* leptocephali. *Mar. Biol.*, 128: 565–575.
- Otake, T. and K. Uchida. 1998. Application of otolith microchemistry for distinguishing between amphidromous and non-amphidromous stocked ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Fish. Sci.*, 64: 517–521.
- Prentice, E. F., T. A. Flagg and C. S. McCutcheon. 1990. Feasibility of using implantable passive integrated transponder (PIT) tags in salmonids. Pages 317–322 in N. C. Parker, A. E. Giorgi, R. C. Heidinger, D. B. Jester Jr., E.

- D. Prince and G. A. Winans, eds. Fish-marking techniques. Vol. 7. Am. Fish. Soc. Symp.
- Quinn, T. P. 1980. Evidence for celestial and magnetic compass orientation in lake migrating sockeye salmon fry. *J. Comp. Physiol.*, 137: 243–248.
- Quinn, T. P., B. A. Terahart and C. Groot. 1989. Migratory orientation and vertical movements of homing adult sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, in coastal waters. *Animal Behaviour*, 37: 587–599.
- Radtke, R. L. 1984. Cod fish otoliths: Information storage structures. Pages 273–298 in E. Dahl, D. S. Danielssen, E. Moksness and P. Solemdal, eds. The propagation of cod *Gadus morhua* L., Part I. Institute of Marine Research, Arendahl, Norway.
- Radtke, R. L. 1987. Age and growth information available from the otoliths of the Hawaiian snapper, *Pristipomoides filamentosus*. *Coral Reefs*, 6: 19–25.
- Radtke, R. L. 1989. Strontium-calcium concentration ratios in fish otolith as environmental indicators. *Comp. Biochem. Physiol.*, 92: 189–193.
- Radtke, R. L. and R. A. Kinzie and S. D. Folsom. 1988. Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. *Env. Biol. Fish.*, 23: 205–213.
- Radtke, R. L. and B. Morales-Nin. 1989. Mediterranean juvenile bluefin tuna: life history patterns. *J. Fish. Biol.*, 35: 485–496.
- Radtke, R. L., D. W. Townsend, S. C. Folsom and M. A. Morrison. 1990. Strontium:calcium ratios in larval herring otoliths as indicators of environmental histories. *Env. Biol. Fish.*, 27: 51–61.
- Radtke, R. L. and R. A. Kinzie. 1996. Evidence of a marine larval stage in endemic Hawaiian stream gobies from isolated high-elevation locations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 125: 613–621.
- Rieman, B. E., D. L. Myers and R. L. Nielson. 1994. Use of otolith microchemistry to discriminate *Oncorhynchus nerka* of resident and anadromous origin. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51: 68–77.
- Righton, D., J. Metcalfe and P. Connolly. 2001. Different behaviour of North and Irish Sea cod. *Nature*, 411: 156–156.
- Royce, W. F., L. S. Smith and A. C. Hartt. 1968. Models of oceanic migrations of Pacific salmon and comments on guidance mechanisms. *Fish. Bull.*, 66: 441–462.
- Ruggerone, G. T., T. P. Quinn, I. A. McGregor and T. D. Wilkinson. 1990. Horizontal and vertical movements of adult steelhead trout, *Oncorhynchus mykiss*, in the Dean and Fisher Channels, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47: 1963–1969.
- Sadovy, Y. and K. P. Severin. 1992. Trace elements in biogenic aragonite: correlation of body growth rate and strontium levels in the otoliths of the white grunt, *Haemulon plumieri* (Pisces: Haemulidae). *Bull. Mar. Sci.*, 50, 237–257.
- Sadovy, Y. and K. P. Severin. 1994. Elemental patterns in red hind (*Epinephelus guttatus*) otoliths from Bermuda and Puerto Rico reflect growth rate, not temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51: 133–141.
- 佐藤良三・中賢治・石田力三. 1982. アイソザイムの魚類放流試験への適用の可能性. 養殖研究所報告, 3: 11–19.
- Schmidt, J. 1925. The breeding places of the eel. *Annu. Rep. Smithson. Inst.*, 1924: 279–316.
- Secor, D. H. 1992. Application of otolith microchemistry analysis to investigate anadromy in Chesapeake Bay striped bass *Morone saxatilis*. *Fish. Bull.*, 90: 798–806.
- Secor, D. H. and E. D. Houde. 1995. Larval mark-release experiments: Potential for research on dynamics and recruitment in fish stocks. Pages 423–444. in D. H. Secor, J. M. Dean, and S. E. Campana, eds. Recent developments in fish otolith research. University of South Carolina Press.
- Secor, D. H., A. Henderson-Arzapalo and P. M. Piccoli. 1995. Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 192: 15–33.
- Secor, D. H. and P. M. Piccoli. 1996. Age- and sex-dependent migrations of striped bass in the Hudson River as determined by chemical microanalysis of otoliths. *Estuaries*, 19: 778–793.
- 瀬能 宏. 1985. 沖縄の川魚滅亡の危機. 淡水魚, 11: 73–78.
- Shauel, L. D. and J. E. Clark. 1990. Use of coded wire tag data on estimate aggregate stock composition of salmon catches in multiple mixed-stock fisheries. Pages 613–622 in N. C. Parker, A. E. Giorgi, R. C. Heidinger, D. B. Jester Jr., E. D. Prince and G. A. Winans, eds. Fish-Marking Techniques. Vol. 7. Am. Fish. Soc. Symp.
- Sugeha, H. Y., T. Arai, M. J. Miller, D. Limbong and K. Tsukamoto. 2001. Inshore migration of the tropical eels *Anguilla* spp. recruiting to the Poigar River estuary on north Sulawesi Island. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 221: 233–243.
- Szedlmayer, S. T. and K. W. Able. 1993. Ultrasonic telemetry of age-0 summer flounder, *Paralichthys dentatus*, movements in a southern New Jersey estuary. *Copeia*, 1993: 728–736.
- Takai, N., W. Sakamoto, M. Maehata, N. Arai, T. Kitagawa and Y. Mitsunaga. 1997. Habitats and migration paths of Lake Biwa catfish *Silurus biwaensis* measured by ultrasonic telemetry. *Fish. Sci.*, 63: 181–187.
- Tanaka, H., Y. Takagi and Y. Naito. 2000. Behavioral thermoregulation of chum salmon during homing migration in coastal waters. *J. Exp. Biol.*, 203: 1825–1833.
- 谷口順彦・高橋 勇. 1989. 生化学的遺伝標識によるアユ放流種苗の追跡について—那賀川での調査事例—. 月刊海洋, 21: 270–276.
- Tesch, F. W. 1977. The eel. Biology and management of anguillid eels. Chapman and Hall, London, UK. 434 pp.
- Thorrold, S. R., C. M. Jones and S. E. Campana. 1997. Response of otolith microchemistry to environmental variations experienced by larval and juvenile Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*). *Limnol. Oceanogr.*, 42: 102–111.
- Toole, C. L., D. F. Markle and P. M. Harris. 1993. Relationships between otolith microstructure, microchemistry, and

- early life history events in Dover sole, *Microstomus pacificus*. Fish. Bull. U. S., 91: 732–753.
- Townsend, D. W., R. L. Radtke, M. A. Morrison and S. D. Folsom. 1989. Recruitment implications of larval herring overwintering distributions in the Gulf of Marine, inferred using a new otolith technique. Mar. Ecol. Prog. Ser., 55: 1–13.
- Townsend, D. W., R. L. Radtke, S. Corwin and D. A. Libby. 1992. Strontium:calcium ratios in juvenile Atlantic herring *Clupea harengus* L. otoliths as a function of water temperature. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 160: 131–140.
- Townsend, D. W., R. L. Radtke, D. P. Malone and J. P. Wallinga. 1995. Use of otolith strontium:calcium ratios for hind-casting larval cod *Gadus morhua* distributions relative to water masses on Georges Bank. Mar. Ecol. Prog. Ser., 119: 37–44.
- Tsukamoto, K. 1985. Mass-marking of ayu eggs and larvae by tetracycline-tagging of otoliths. Nippon Suisan Gakkaishi, 51: 903–911.
- Tsukamoto, K. 1988. Otolith tagging of ayu embryo with fluorescent substances. Nippon Suisan Gakkaishi, 54: 1289–1295.
- 塚本勝巳. 1988. アユの回遊メカニズムと行動特性. 上野輝彌・沖山宗雄 (編). 100–133 pp. 現代の魚類学. 朝倉書店, 東京.
- 塚本勝巳. 1991. 魚類の初期減耗過程とそのメカニズムに関する標識放流実験. 田中 克 (編). 105–118 pp. 魚類の初期発育過程. 恒星社厚生閣, 東京.
- Tsukamoto, K. 1992. Discovery of the spawning area for the Japanese eel. Nature, 356: 789–791.
- 塚本勝巳. 1994. 通し回遊魚の起源と回遊メカニズム. 後藤 晃・塚本勝巳・前川光司 (編), pp. 2–17. 川と海を回遊する淡水魚—生活史と進化—. 東海大学出版会, 東京.
- Tsukamoto, K. 1995. Use of otolith-tagging in a stock enhancement program for masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in the Kaji River, Japan. Pages 403–422 in D. H. Secor, J. M. Dean and S. E. Campana, eds. Recent developments in fish otolith research. University of South Carolina Press, South Carolina, USA.
- 塚本勝巳. 1998. 魚卵・仔稚魚の大量標識法とその応用. 平野敏行 (監), pp. 1531–1537. 沿岸の環境圏. フジ・テクノシステム, 東京.
- Tsukamoto, K., H. Kuwada, J. Hirokawa, M. Oya, Y. Seki, H. Fujimoto and K. Imaizumi. 1989. Size-dependent mortality of the red sea bream juveniles released with otolith-tagging in the News Bay. J. Fish Biol., 35: 59–69.
- Tsukamoto, K. and K. Uchida. 1992. Migration mechanism of the ayu. Pages 145–172 in V. I. Ilyichev and V. V. Anikiev, eds. Oceanic and anthropogenic controls of life in the Pacific Ocean. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Tsukamoto, K. and J. Aoyama. 1998. Evolution of freshwater eels of the genus *Anguilla*: a probable scenario. Env. Biol. Fish., 52: 139–148.
- Tsukamoto, K. and T. Arai. 2001. Facultative catadromy of the eel, *Anguilla japonica*, between freshwater and seawater habitats. Mar. Ecol. Prog. Ser., 220: 265–276.
- Tsukamoto, K., I. Nakai and F. W. Tesch. 1998. Do all freshwater eels migrate? Nature, 396: 635–636.
- 塚本洋一・沖山宗雄. 1993. イセゴイの初期生活史における成長様式. 魚類学雑誌, 39: 379–386.
- Tzeng, W. 1996. Effects of salinity and ontogenetic movements on strontium:calcium ratios in the otoliths of the Japanese eel, *Anguilla japonica* Temminick and Schlegel. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 199: 111–122.
- Tzeng, W. N. and Y. C. Tsai. 1994. Changes in otolith microchemistry of Japanese eel, *Anguilla japonica*, during its migration from the ocean to the rivers of Taiwan. J. Fish. Biol., 45: 671–683.
- Tzeng, W. N., K. P. Severin and H. Wickström. 1997. Use of otolith microchemistry to investigate the environmental history of European eel *Anguilla anguilla*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 149: 73–81.
- Tzeng, W. N., C. H. Wang, H. Wickström and M. Reizenstein. 2000. Occurrence of the semi-catadromous European eel *Anguilla anguilla* in the Baltic Sea. Mar. Biol., 137: 93–98.
- 上野山清. 1977. バイオテレメトリー手法による若狭湾ブリの行動に関する調査. 福井県水産試験場報告, 5: 19–34.
- Utter, F. M. and J. E. Seeb. 1990. Genetic marking of fishes: overview focusing on protein variation. Pages 426–438 in N. C. Parker, A. E. Giorgi, R. C. Heidinger, D. B. Jester, Jr., E. D. Prince and G. A. Winans, eds. Fish-marking techniques, Vol. 7. Am. Fish. Soc. Symp.
- Veinott, G., T. Northcote, M. Rosenau and R. D. Evans. 1999. Concentrations of strontium in the pectoral fin spines of the white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) by laser ablation sampling-inductivity coupled plasma-mass spectrometry as an indicator of marine migrations. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 56: 1981–1990.
- Volk, E. C., S. L. Schroder and K. L. Fresh. 1990. Inducement of unique otolith banding patterns as a practical means to mass-mark juvenile pacific salmon. Pages 203–215 in N. C. Parker, A. E. Giorgi, R. C. Heidinger, D. B. Jester, Jr., E. D. Prince and G. A. Winans, eds. Fish-marking techniques. Vol. 7. Am. Fish. Soc. Symp.
- Volk, E. C., S. L. Schroder, J. J. Grimm and H. S. Ackley. 1994. Use of a bar code symbology to produce multiple thermally induced marks. Trans. Am. Fish. Soc., 123: 811–816.
- Volk, E. C., S. L. Schroder and J. J. Grimm. 1999. Otolith thermal marking. Fish. Res., 43: 205–219.
- Walker, R. V., K. W. Myers, N. D. Davis, K. Y. Aysin, K. D. Friedland, H. R. Corlson, G. W. Boehlert, S. Urawa, Y. Ueno and G. Anma. 2000. Diurnal variation in thermal environment experienced by salmonids in the North Pacific as indicated by data storage tags. Fish. Oceanogr., 9: 171–186.
- Wang, C. H. and W. N. Tzeng. 1998. Interpretation of geographic variation in size of American eel *Anguilla rostrata* elvers on the Atlantic coast of North America using their life history and otolith ageing. Mar. Ecol. Prog. Ser., 168:

- 35-43.
- Wang, C. H. and W. N. Tzeng. 2000. The timing of metamorphosis and growth rates of American and European eel leptocephali: A mechanism of larval segregative migration. *Fish. Res.*, 46: 191-205.
- Wisby, W. J. and A. D. Hasler. 1954. Effect of olfactory occlusion on migrating silver salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 11: 472-478.
- Wroblewski J. S., W. L. Bailey and K. A. Howse. 1994. Observations of adult Atlantic cod (*Gadus morhua*) overwintering in nearshore waters of Trinity Bay, Newfoundland. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51: 142-150.
- 八幡康一・清水 健・大洞克巨・沢田幹男. 1991. 宮古湾に標識放流したニシン人工種苗の行動について. *栽培漁業技術開発研究*, 20: 47-58.
- 山田寿郎・麦谷康雄. 1988. 硬骨魚類の耳石および鱗の成長と石灰化. 大森昌衛・須賀昭一・後藤仁敏(編), pp. 203-217. *海洋生物の石灰化と系統進化*. 東海大学出版会. 東京.
- Yuen, H. 1970. Behavior of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, as determined by tracking with ultrasonic devices. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 27: 2071-2079.