

ミナミマグロの食性研究のレビュー：  
CCSBTにおける今後の研究事項

Review of studies on feeding ecology of southern bluefin tuna  
*Thunnus maccoyii*: future study areas in CCSBT

伊藤智幸

Tomoyuki ITOH

国立研究開発法人水産研究・教育機構 国際水産資源研究所

National Research Institute of Far Seas Fisheries,

Japan Fisheries Research and Education Agency

要旨

本文書は、ミナミマグロの胃内容物分析研究についてレビューした。オーストラリア南西沿岸の1歳魚、4歳魚以上の外洋摂餌域では充実したデータが得られている。研究が行われていない、またはさらに必要である海域を特定した。沿岸域ではマイワシが胃内に出現することが多く、過去に大きな年変動をしていること、畜養にも利用されていることから、オーストラリア沿岸のマイワシの資源動向をCCSBTでモニターすべきである。他のエサ生物は商業対象生物でないことから、他のアプローチで調べていく必要がある。CCSBTでは科学オブザーバーが多くの漁業に派遣されていること、畜養の技術が確立していることといった食性・生態研究にアドバンテージがある。

Summary

This paper reviewed the study on the stomach contents of southern bluefin tuna (SBT). Extensive data were collected for age 1 fish in the southwestern Australia and for fish more than age 4 in the feeding ground. Several areas where no or little amount of data have been collected were specified. Because pilchard was frequently occurred in the stomachs of SBT, its stock level changed largely in the past, and actively utilized for farming of SBT, CCSBT should monitor the stock status of pilchard in the Australian coastal waters. Other prey items were non-commercial target species which are scarce of information on distribution and abundance, then different approaches are necessary to obtain information. CCSBT has advantages to study feeding ecology and ecosystems that the scientific observer programs have developed for biological sampling and that farming technique of SBT which allows experimental studies has established.

本文書ではミナミマグロの食性研究の結果をレビューし、生活史段階、時空間においてさらに研究すべきことを示す。

## 胃内容物分析結果のレビュー

仔魚段階：Uotani(1981)、Young and Davis (1990)がミナミマグロ仔魚の食性を示した。コペポーダが主体であった。

0-1 歳魚：Serventy(1956)が南オーストラリア州、西オーストラリアの沿岸での胃内容物から出現した生物種を記述した。Itoh et al. (2011)では、西オーストラリア州南岸での1歳魚の胃内容物分析結果を示した。その結果、マイワシ *Sardinops sagax*、小型のマアジ *Trachurus declivis*、小型のサバ *Scomber australasicus* が主要なエサと報告された。マイワシは沿岸で、マアジとサバは陸棚斜面付近で出現し、陸棚斜面からの距離に応じてエサが変化することが観察された。よってアクセスの良い沿岸付近でのサンプルによる知見では結果に偏りを生じる恐れがあり、陸棚斜面域を含めたミナミマグロ分布域を広くサンプリングする必要がある。

2-4 歳魚：Word et al.(2006)が、GAB で漁獲したミナミマグロはマイワシを主に食べ、カタクチイワシ *Engraulis australis* とサバが出現したと報告した。分析ミナミマグロ個体数は少なく (N=41)、サンプルも沿岸域に限定されていた。Serventy (1956)がオーストラリア NSW 沿岸の体重 6-18lb のミナミマグロについて、胃内容物から出現した生物種を列記した。Serventy(1956)は胃内容物の顕著な年変動を報告しており、1938 年と 1939 年にはマイワシとカタクチイワシが主体だったが、1940-1941 年にはオキアミと小型エサが主体であったとしている。

タスマニア島周辺：Young et al. (1997)は、タスマニア島周辺の陸棚上において曳縄で漁獲した小型魚と、陸棚斜面以遠の外洋においてはえ縄で漁獲した中型から大型の魚の胃内容物を比較した。両者には明確な違いがあることが示され、ハチビキ *Emmelichthys nitidus*、マアジが重要なエサと記録された。外洋の魚についてもマアジが出現したことについて、陸棚斜面で摂餌したと推察されていた。この研究では、外洋域でのサンプルについても、沿岸域の影響が含まれていた。

4 歳魚以上の外洋摂餌域：Talbot and Penrith(1963)が南アフリカ沖の食性を報告しているが断片的である。Young et al. (1997)はタスマニア沖の食性を多数のミナミマグロ個体 (N=869) に基づいて報告している。Itoh and Sakai(2016)は、延縄漁獲物から科学オブザーバー計画を通じて収集した 40000 個体以上の胃内容物を分析した。サンプルは 15 年間、4 月から 12 月、30S 以南の 5W から 160E まで幅広くから収集した。Young et al. (1997)

および Itoh and Sakai (2016)では共通して、重量組成では魚類が主体であった若齢魚の沿岸域とは異なり、頭足類と魚類が半分ずつでほとんど全てを占めていた。頭足類としてはアカイカ科 Ommastrephidae の重量組成が最も大きく、ヒカリイカ科 Lycoteuthidae、アオイガイ科 Argonautidae が次いで多かった。魚類の重量組成は、ミズウオ科 Alepisauridae、シマガツオ科 Bramidae、エボシダイ科 Nomeidae、ハダカエソ科 Paralepididae で大きかった。年、海域、SST による変動は頭足類の変動に起因していた。南東インド洋 (CCSBT8 海区) では、小型ミナミマグロがアカイカ科を食べており、アカイカ科は 8 月から 12 月に掛けて大型になっていった。小型ミナミマグロは冬に南へ移動すると考えられ、食べやすい小型アカイカ科がエサとして確保されていることは小型ミナミマグロの南方の冷水域へのハビタット拡大に貢献していると考えられた。

産卵場：胃内容物分析結果は発表されていない。

以上から、食性研究の基本的手法である胃内容物分析として、以下の海域では知見が得られていない：インド洋南部の 30-35S 海域（台湾延縄漁業の 2-4 歳魚の漁場）、NZ 沖合い、産卵場の成魚。また以下の海域では未だ十分ではない：産卵場の仔魚、オーストラリアの西岸（0 歳魚）、GAB、タスマニア沖合い。また、エサの年変動の可能性も考え、長期間のサンプルに基づくべきである。

### 胃内容物分析以外の手法への発展

安定同位体比は数ヶ月間の食性を蓄積した情報を提供するものとして、良く行われる方法である (e.g. Logan et al. 2011) が、ミナミマグロではまだ行われていない。炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) および窒素安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) について、生態的位置を明らかにする濃縮係数はミナミマグロでは得られていない。

アーカイバルタグでは腹腔内温度の変動として摂餌を捉えることができる。Bestley et al.(2008)はこのアプローチによって、インド洋南部の魚の摂餌量を推定し、また絶食期間があることを示した。延縄からのサンプルは食い気のある魚に限定されるので、アーカイバルタグによるアプローチは自然状態の摂餌を示すものとして興味深い。

胃内容物はその瞬間の保持量を示しているに過ぎない。延縄漁獲物では摂餌時点から胃の採集（消化をとめる）までの時間が明らかではない。摂餌量を定量的に求め、日摂餌量を推定するためには、消化速度やそれに及ぼす影響要素を明らかにする必要がある。

ミナミマグロの食性研究は、ミナミマグロの胃内容物分析だけでは完了しない。エサ生物の時空間的分布量の変動も考慮する必要がある。オーストラリア沿岸のマイワシは西オーストラリア州南岸および GAB においてミナミマグロの重要なエサである。オーストラリア沿岸のマイワシ資源は、1990 年代終盤にヘルペスウィルスによる高死亡率によって崩壊し、その後再建していると報告されており、大きな変動をしたことが知られている (Gaughan

et al. 2004, Gaughan et al. 2008)。ミナミマグロ若齢魚の資源動向との関連を見るため、オーストラリア沿岸のマイワシ資源の動向を CCSBT はモニターすべきである。また、オーストラリアでのミナミマグロ畜養ではローカルのマイワシ資源とカリフォルニアから輸入したマイワシをエサに使用しており (Jeffriess 2016)、マイワシ資源に及ぼすミナミマグロ畜養漁業の影響もモニターすべきである。

他のエサとして主要な、マアジ、サバ、ハチビキ、ミズウオ科、シマガツオ科、エボシダイ科、ハダカエソ科、アカイカ科、ヒカリイカ科、アオイガイ科についても、分布や資源動向をモニターすることが望ましい。しかしこれらの非商業対象生物は情報が限られるだろう。代替法として、同一海域に分布する他の高次捕食者の胃内容物と比較することでミナミマグロの食性の特質を浮かび上がらせることができるかもしれない。オーストラリア北東部での延縄漁獲魚についてはこうしたアプローチがとられ、成果を上げている (Young et al. 2010)。

### 我々のアドバンテージ

CCSBT はミナミマグロのこうした問題に対して、いくつかのアドバンテージを有している。まず、科学オブザーバーが各国によって実施されている。よって、胃や安定同位体比を調べるための筋肉などの生物サンプルを比較的容易に収集することができる。インド洋南部の 30-35S 海域は台湾の漁獲海域であり、科学オブザーバーによるサンプル収集が期待できる。NZ 近海・沖合でも科学オブザーバーが乗船しており、サンプル収集は可能である。NZ の科学オブザーバーは船上で大まかに胃内容物を調査している。その活動および情報を活用する道を検討すべきだろう。

オーストラリアにおいて畜養が盛んに行われている。確立した飼育技術および飼育施設が存在することから、安定同位体比の濃縮係数を求めるための実験、消化速度を求めるための実験が可能であろう。

This paper reviews the study on the stomach contents of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*; SBT) by life history stage and area, and specifies the area where further study required.

### Review of SBT stomach contents analysis

In larval stage, Uotani (1981) and Young and Davis (1990) studied stomach contents of larvae collected in the spawning area of SBT. The main prey item was copepod.

In age 0-1 fish, Serventy (1956) described prey species in SBT stomach that collected in South Australia and Western Australia. Itoh et al. (2011) reported stomach contents of age 1 SBT in the southern coastal areas of Western Australia. The main preys in their study were pilchard *Sardinops sagax*, juvenile jack mackerel *Trachurus declivis*, and juvenile blue mackerel *Scomber australasicus*. The prey species changed along with the distance from shelf-edge; pilchard occurred in the coastal area while jack mackerel and blue mackerel occurred near the shelf-edge. It suggests the risk of sampling bias that sampling is carried out only in coastal areas where is easily accessible. It is important to collect samples from a wide range from coastal area to shelf-edge.

In age 2-4 fish, Word et al. (2006) reported that SBT in GAB had pilchard mainly, followed by anchovy *Engraulis australis* and blue mackerel. The number of SBT collected was not large (N=41) and the sampling area was limited in coastal area. Serventy (1956) described various prey species of SBT in 6-18 lb weight in New South Wales. Serventy (1956) also reported the remarkable inter-annual difference of stomach contents that pilchard and anchovy were the main preys in 1938 and 1939, however, krill *Nyctiphanes australis* and small animals were common in 1940 and 1941.

Near Tasmania Island, Young et al. (1997) compared stomach contents of SBT between small fish collected by trolling inshore and medium to large fish caught by longline offshore. Distinctive difference between them was found. Jack mackerel and redbait *Emmelichthys nitidus* were main preys inshore. Cephalopods and variety of fish species were main surveys offshore. Jack mackerel found in SBT caught offshore was estimated that the fish exchange between inshore and offshore waters. It suggests that the stomach contents of SBT offshore affected by inshore areas.

In age 4 or more in the feeding ground, Talbot and Penrith (1963) described stomach contents of SBT off South Africa, but fragmental. Young et al. (1997) reported offshore feeding ecology of SBT off Tasmania Island based on the substantial number of SBT (N=869). Itoh and Sakai (2016) analysed more than 4000 SBT stomachs collected from

Japanese longline through the scientific observer program. The samples collected extent for 15 years, from April to December, and from 5W to 160W south of 30S. In both Young et al. (1997) and Itoh and Sakai (2016) found that the dominant preys in weight were cephalopods and fish offshore, which differs from the pattern for juveniles in the coastal habitat, where most of the prey are fish. In cephalopods, Ommastrephidae was the dominant followed by Lycoteuthidae and Argonautidae. In fish, major preys in weight were Alepisauridae, Bramidae, Nomeidae, and Paralepididae. The prey composition was relatively consistent among tuna sizes, sea surface temperatures, and years; changes in prey composition were due largely to differences in the cephalopod prey. Small SBT in the southeast Indian Ocean (CCSBT statistical area 8) fed Ommastrephidae whose size increased from August to December. Small SBT appears to move south in winter and a reliable supply of prey in the new area may facilitate habitat expansion by small SBT towards colder southern waters.

In the SBT spawning area, no data of stomach contents were reported.

With these studies of stomach contents of SBT, which is a basic method of feeding ecology, no data were obtained from the southern Indian Ocean 30S-35S where Taiwanese longline fishing ground for age 2-4 SBT, off New Zealand, and spawning area for adult fish. Following areas are insufficient in the number of samples; spawning area for larvae, west coast of Australia for age-0 fish, Great Australian Bight, and off Tasmania. Furthermore, since there may be the inter-annual variation of prey abundance and stomach contents, samples for long years are warranted.

### Alternative approaches of feeding ecology other than the stomach contents analysis

Stable isotope is frequently used for study of feeding ecology (e.g. Logan et al. 2011). Stomach contents provide information of just several hours before the fish caught, however, stable isotope provide information accumulated for several months of prey have been fed. The technique has not yet been applied for SBT. For the technique, determination of the isotope discrimination factors for carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) are required in order to estimate position in the ecosystem. It has not yet been obtained in SBT.

Archival tag data can detect feeding of fish with the change of temperature in body cavity. Bestley et al. (2008) use the archival tag data, estimated daily intake, and showed the

existence of multiple-day fasting periods. Because samples from longline fishing is limited for actively feeding SBT, the approach based on archival tag is interesting that also show inactive feeding condition.

The weight of stomach contents is just the information at the time of collect. It is affected by digestion. To estimate daily intake quantitatively, we need to know speed of digestion and factors influence on it.

Feeding ecology of SBT cannot be understood based only on the stomach contents analysis. It requires information of distribution and abundance of each prey species, and information of changes of them along with time. Pilchard is the most important prey species in Australian coast, e.g. southern Western Australia and Great Australian Bight. It is known that the Australian pilchard stock level has changed drastically, for example the stock collapsed with a mass mortality by herpes virus in the late 1990s, then recovered later (Gaughan et al. 2004, Gaughan et al. 2008). To examine the relationship to SBT recruitment, CCSBT should monitor the stock status of pilchard in Australian coast. In addition, farming of SBT in South Australia uses Australian local pilchard and imported pilchard from California (Jeffriess 2016). The influence on pilchard stock by SBT farming should also be evaluated.

Other major prey species, such as jack mackerel, blue mackerel, redbait, Alepisauridae, Bramidae, Nomeidae, Paralepididae Ommastrephidae, Lycoteuthidae, and Argonautidae, also should be monitored its distributions and abundances. However, unfortunately, collection of information of them would be difficult because they are not target species of commercial fishing. Alternatively, comparison of stomach contents of various top predator species in the same area is expected to emerge the specific feature of SBT feeding ecology. This approach in the northeast Australia for predators sampled from longline fishing provide interesting results (Young et al. 2010).

### Our advantages of CCSBT

CCSBT has some advantages on issues relevant to feeding study. CCSBT Members implemented scientific observer programs. It is expected that biological samples such as stomachs and muscle tissue for stable isotope analysis can be collected with little difficulty. The southern Indian Ocean of 30-35S is the fishing ground of Taiwanese longline and their scientific observers can collect samples. Off New Zealand, the scientific observer program has also implemented for years and possible to collect biological samples. NZ observers record type of stomach contents and amount on-board. It is better

to utilize the information they collected.

Farming of SBT is actively conducted. The rearing technique has established and rearing facility is existing. It allows experimental study such as for determination of the isotope discrimination factors and for speed of digestion and intake.

## References

- Bestley, S., Patterson, T. A., Hindell, M. A., & Gunn, J. S. (2008). Feeding ecology of wild migratory tunas revealed by archival tag records of visceral warming. *Journal of Animal Ecology*, 77(6), 1223–1233.
- Gaughan, D. J., Leary, T. I., Mitchell, R. W., & Wright, I. W. (2004). A sudden collapse in distribution of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off southwestern Australia enables an objective re-assessment of biomass estimates. *Fishery Bulletin*, 102(4), 617–633.
- Gaughan, D., Craine, M., Stephenson, P., Leary, T., & Lewis, P. (2008). Regrowth of pilchard (*Sardinops sagax*) stocks off southern WA following the mass mortality event of 1998/99. *Final FRDC Report – Project 2000 / 135*, 1–82.
- Itoh, T., Kemps, H., & Totterdell, J. (2011). Diet of young southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* in the southwestern coastal waters of Australia in summer. *Fisheries Science*, 77(3), 337–344.
- Itoh, T., & Sakai, O. (2016). Open-ocean foraging ecology of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* based on stomach contents. *Marine Ecology Progress Series*, 555, 203–218.
- Jeffriess, B. (2016). An updated review of tuna growth performance in ranching and farming operations. *CCSBT-ESC/1609/14*.
- Logan, J. M., Rodríguez-Marín, E., Goñi, N., Barreiro, S., Arrizabalaga, H., Golet, W., & Lutcavage, M. (2011). Diet of young Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in eastern and western Atlantic foraging grounds. *Marine Biology*, 158(1), 73–85.
- Serventy D. L. (1956). The southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii* (Castelnau), in Australian waters. *Aust Journal of Mar Freshwater Res*, 7, 1–43.
- Talbot F. H., & Penrith M. J. (1963). Synopsis of biological data on species of the genus *Thunnus* (Sensu lato) (South Africa). *FAO Fisheries Rep*, 2, 608–646.
- Uotani, I., Matsuzaki, K., Makino, Y., Noda, K., Inamura, O., & Horikawa, M. (1981). Food habits of larvae of tunas and their related in the area northwest of Australia. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 47(9), 1165–1172.



- Ward, T. M., McLeay, L. J., Dimmlich, W. F., Rogers, P. J., McClatchie, S., Matthews, R., Kämpf, J., & Van Ruth, P. D. (2006). Pelagic ecology of a northern boundary current system: Effects of upwelling on the production and distribution of sardine (*Sardinops sagax*), anchovy (*Engraulis australis*) and southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in the Great Australian Bight. *Fisheries Oceanography*, *15*(3), 191–207.
- Young, J. W., Lamb, T. D., Le, D., Bradford, R. W., & Whitelaw, a W. (1997). Feeding ecology and interannual variations in diet of southern bluefin tuna, *Thunnus-maccoyii*, in relation to coastal and oceanic waters off eastern Tasmania, Australia. *Environmental Biology of Fishes*, *Vol 50*(Iss 3), 275–291.
- Young, J. W., Lansdell, M. J., Campbell, R. A., Cooper, S. P., Juanes, F., & Guest, M. A. (2010). Feeding ecology and niche segregation in oceanic top predators off eastern Australia. *Marine Biology*, *157*(11), 2347–2368.
- Young, J. W., & Davis, T. L. O. (1990). Feeding ecology of larvae of southern bluefin, albacore and skipjack tunas (Pisces: Scombridae) in the eastern Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, *61*, 17–29.