

1991–1992. CHLCH reported that the prevalence in sheep was 43.4% in 1991. Our data support their data. In our data the prevalence in more than 4-year-old sheep was 49.3% and 18.5% in 1991–1992 and 1999, respectively. Cabrera et al. [5] reported that the prevalence of hydatidosis was 7.7% in lambs and 18.0% in adults in 1998. Our results and Cabrera's data [5] were similar in adult sheep, but not in lambs. While the difference of both studies was in scale and place of survey, we do not know the cause of the difference.

The prevalence in more than 4 year old sheep was 18.5%. But a few young sheep were also infected with the parasite in 1999. It suggested that sheep were infected before 1997 in Uruguay. Even in the intensive attack phase of control (1992–1996) some sheep were infected. Young sheep, lambs, are usually sent to large-size, modern slaughterhouses and are consumed in the urban area [5]. In the urban area dogs usually have no access to viscera of infected sheep. But in the rural area old sheep with fertile cysts are home-slaughtered. So on the farms a few dogs had the chance to eat the viscera containing fertile cysts during the attack phase.

Although the control program led to the remarkable reduction of prevalence in animal populations in Uruguay, eradication of the parasite has not been achieved. A sustainable control program (less costly consolidation phase) is needed.

Acknowledgements

We gratefully appreciate Dr. Ciro Ferreira and the staff of Municipal Government of Tacuarembó for their generous help and collaboration. We would like to thank to Ms. Dafna Stern, Dr. Rosario Gallardo, and Dr. Laula Chifflet for helping with our survey. This work was supported in part by JICA, Grant-in Aid for Scientific Research from Japan Society for Promotion of Science and by grants from the Ministry of Health, Labor and Welfare, Japan.

References

- [1] J. Eckert, et al., Geographic distribution and prevalence, in: J. Eckert, M.A. Gemmell, F.X. Meslin, Z.S. Pawlowski (Eds.), WHO OIE Manual on Echinococcosis in Humans and Animals: A Public Health Problem of Global Concern, OIE/WHO, Paris, 2001, pp. 100–119.
- [2] P.S. Craig, M.T. Rogan, J.C. Allan, Detection, screening and community epidemiology of taeniid cestode zoonoses: cystic echinococcosis, alveolar echinococcosis and neurocysticercosis, *Adv. Parasitol.* 38 (1996) 169–250.
- [3] Z.S. Pawlowski, et al., Echinococcosis in humans: clinical aspects, diagnosis and treatment, in: J. Eckert, M.A. Gemmell, F.X. Meslin, Z.S. Pawlowski (Eds.), WHO OIE Manual on Echinococcosis in Humans and Animals: A Public Health Problem of Global Concern, OIE/WHO, Paris, 2001, pp. 20–71.
- [4] M.A. Gemmell, et al., Control of echinococcosis, in: J. Eckert, M.A. Gemmell, F.X. Meslin, Z.S. Pawlowski (Eds.), WHO OIE Manual on Echinococcosis in Humans and Animals: A Public Health Problem of Global Concern, OIE/WHO, Paris, 2001, pp. 195–237.
- [5] P.A. Cabrera, et al., National prevalence of larval echinococcosis in sheep in slaughtering plants *Ovis aries* as an indicator in control programmes in Uruguay, *Acta Trop.* 85 (2003) 281–285.
- [6] P.A. Cabrera, et al., Transmission dynamics of *Echinococcus granulosus*, *Taenia hydatigena* and *Taenia ovis* in sheep in Uruguay, *Int. J. Parasitol.* 25 (1995) 807–813.
- [7] P. Purriel, et al., Human echinococcosis (hydatidosis) in Uruguay a comparison of indices of morbidity and mortality, 1962–71, *Bull. W.H.O.* 49 (1973) 395–402.
- [8] R. Bonifacino, et al., Seroprevalence of *Echinococcus granulosus* infection in a Uruguayan rural human population, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 85 (1991) 769–772.

- [9] R. Perdomo, et al., Early diagnosis of hydatidosis by ultrasonography, *Lancet* 8579 (1988) 244.
- [10] C. Carmona, et al., Risk factors associated with human cystic echinococcosis in Florida, Uruguay: results of a mass screening study using ultrasound and serology, *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 58 (1998) 599–605.
- [11] P.R. Torgerson, C. Carmona, R. Bonifacino, Estimating the economic effects of cystic echinococcosis: Uruguay, a developing country with upper–middle income, *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 94 (2000) 703–713.
- [12] D.F. Orland, Evolution of the programme for the control of hydatidosis in Uruguay, *Arch. Int. Hidatid.* 32 (1997) 69–72.
- [13] P.A. Cabrera, et al., Rates of reinfection with *Echinococcus granulosus*, *Taenia hydatigena*, *Taenia ovis* and other cestodes in a rural dog population in Uruguay, *Int. J. Parasitol.* 26 (1996) 79–83.

Evolving Mathematical Models of Infectious Diseases with a Complicated Route of Transmission

Hirofumi Ishikawa *

A mathematical model for the transmission of infectious disease is useful for estimating disease prevalence, and model simulation can be instrumental in managing various control strategies. This work is focused on models of zoonosis with a complicated route of transmission. When part of the life cycle of the parasite that causes the zoonosis is exposed to the environment, it is difficult to measure the intensity of transmission via this route on the basis of field observations. Therefore, it is necessary to estimate the intensity using model analysis. We have evolved a model for the transmission of *S. japonica* into which the function of control measures is incorporated.

Keywords: *elimination, mathematical model, Schistosomiasis japonica, simulation, transmission*

1. INTRODUCTION

A mathematical model for the transmission of infectious disease is useful for estimating disease prevalence, and model simulation can be instrumental in managing various control strategies. This work is focused on models of zoonosis with a complicated route of transmission. When part of the life cycle of the parasite that causes the zoonosis is exposed to the environment, that is, outside of its host, it is difficult to measure the intensity of transmission via this route on the basis of field observations. Therefore, it is necessary to estimate the intensity using model analysis.

We have studied the transition in the prevalence of *Schistosomiasis japonica* in Bohol Island, the Philippines, where a collaborative project of the Schistosomiasis Control Service of the Philippine Department of Health and Sasakawa Memorial Foundation of Japan has been continuing since 1981 (Yasuraoka *et al.*, 1996). *Schistosoma japonicum* maintains its transmission cycle

in two hosts. Several animal reservoirs besides humans are observed as definitive hosts, while only the snail (*Oncomelania quadrasi*) has been identified as an intermediate host. *S. japonicum* transfers from definitive to intermediate hosts and from intermediate to definitive hosts in water. As the water area varies with rainfall, prevalence fluctuates seasonally.

We have evolved a model for the transmission of *S. japonica* with regard to the seasonal variation in the target region. Moreover, a function of control measures is incorporated into the model. Most of the epidemiological parameters are estimated using field data. A follow-up study admits that the model fits the surveillance. The model simulations indicate that a selective mass treatment program coordinated with snail control would be effective for the elimination of *S. japonica* in a comparative study of control measures, and that the target region would maintain the elimination of *S. japonica* for a few years after these control measures were implemented.

2. TRANSMISSION PROCESSES

Infectious diseases are broadly divided into diseases with a direct transmission process and those with an indirect

* Department of Environmental and Mathematical Sciences,
Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama
University, Tsushimanaka, Okayama 700-8530, Japan
Tel: +81-86-251-8826, Fax: +81-86-251-8837,
E-mail: ishikawa@ems.okayama-u.ac.jp

transmission process. The route of direct transmission from person to person is divided into air-borne infections, contact infections and oral infections. The spread of an epidemic is governed by the contact frequency between persons, the infectious period and the infection success rate at contact. The contact frequency may change greatly with human behavioral patterns and the epidemiological situation, while the other two factors which are characteristic of a pathogenic organ almost always take a constant value. For SARS prevalence in Hong Kong, 2003, which was droplet infection, the mathematical model estimated the reproductive number as 2.5 in the beginning, and it decreased to less than 1 after improving the effectiveness of isolation in hospitals (Riley *et al.*, 2003). HIV, a sexual infection which has long infectious and incubation periods, prevailed in Thailand in the 1990's. The model simulation indicated that change in sexual behavior could reduce the prevalence (Tsunekuni *et al.*, 2003).

There are various styles of indirect transmission. Many serious infectious diseases are transmitted through an insect, especially a mosquito such as malaria, filaria, Japanese encephalitis and West Nile fever. Prevalence of vector-born diseases is governed by some entomological factors. In malariology, vectorial capacity was introduced to describe the transmission ability in the mosquito population (Garrett-Jones, 1964), and studies of malaria models showed it to be valid (Dietz *et al.*, 1974; Ishikawa *et al.*, 2003).

Generally, it is difficult to precisely model zoonosis prevalence, because it is transmitted through a complicated route involving an animal reservoir. A mathematical model of transmission

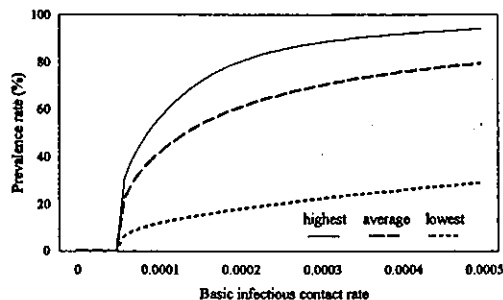


Fig. 1 The prevalence in the fox population corresponding to the basic infectious contact rate. The solid line, the broken line and the dotted line show the highest, the average and the lowest yearly prevalence, respectively.

of *Echinococcus multilocularis* in Hokkaido was constructed (Ishikawa *et al.*, 2003). *E. multilocularis* maintains its transmission cycle in two hosts; the definitive hosts are canines, while the intermediate hosts are mainly rodents and ungulates. Individuals are infected by the accidental ingestion of parasite eggs. Although it was difficult to decide on the transmission coefficient from definitive hosts to intermediate hosts from the field survey because of the presence of free-living eggs in the environment, this coefficient was estimated by considering of the possible range of basic reproductive rates and the result of simulations (Fig. 1).

3. SCHISTOSOMIASIS JAPONICA MODEL

Schistosomiasis is an important disease problem in the Philippines, as well as one of the most prevalent parasitic diseases in the world (Blas *et al.*, 2004). *S. japonica* is a zoonosis disease caused by a parasite having humans as its major definitive host and the *Oncomelania quadrasi* snail as its only intermediate host. As both transmission routes of *S. japonicum*, from human to snail and from snail to human, pass through water in the form of egg/ miracidium and cercaria, the intensities of the transmission via these routes are influenced by meteorological conditions, human behavior and the dynamics of snail population. The available

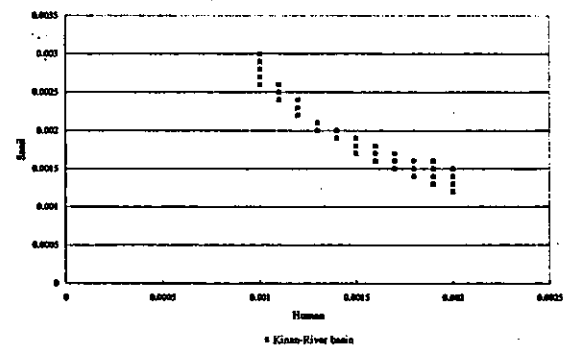


Fig. 2 Suitable range of two transmission coefficients from snail to human (human), and from human to snail (snail) for the pre-control period in Kinan-oan River Basin where the parasite rate was estimated at 10.0% for human population and the infection rate was estimated at 18.2% for snail population. A point (square) is assigned to a region where the difference between observation value and equilibrium value for the parasite rate in the human population is opposite sign to the difference between observation value and equilibrium value for the infection rate in the snail population.

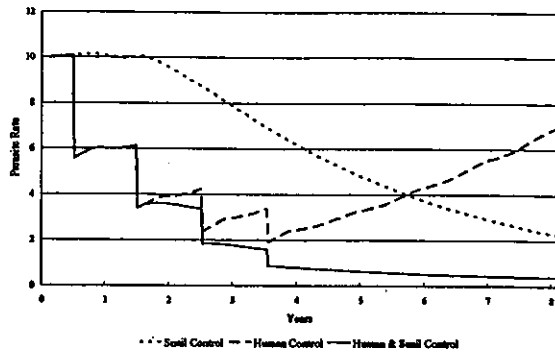


Fig. 3 Variations in the parasite rate (%) of *S. japonicum* for the human control case with selective mass treatment at 1 year interval under an intake compliance rate of 50% (dashed line), the snail control case with use of molluscicides at half a year interval under the assumption that its effective rate would be 50% (dotted line), and both the human and snail control case (solid line), respectively.

water varies seasonally with rainfall. Moreover, animal reservoirs of *S. japonicum* were detected in the Philippines. We have evolved a mathematical model for the transmission of *S. japonica*. Most of the epidemiological parameters that were used in the *S. japonica* model were estimated on the basis of the field surveys. On the other hand, the intensities of the transmission vary regionally and cannot be measured directly. Using the model simulation, the equilibrium values of the infection rates for the definitive and intermediate host population were calculated for a series of the transmission coefficient (Fig. 2). The details of the model structure will be published elsewhere.

4. RESULTS & DISCUSSION

The major approach to the control of *S. japonicum* consists of two methods: the detection of cases and chemical treatment, and snail control by molluscicides. To investigate the design of control methods in the Kinan-oan River basin, Bohol Island, the Philippines, we carried out simulations for the transition of prevalence under three situations: human control with selective mass treatment, snail control with use of molluscicides, and both human and snail control (Fig. 3). The simulation indicates that the parasite rate will be restored after the selective mass treatment trial for only the human control, while the parasite rate will remain below 1% after the measures are implemented for both human and snail control. In addition, snail control can reduce the parasite rate gradually.

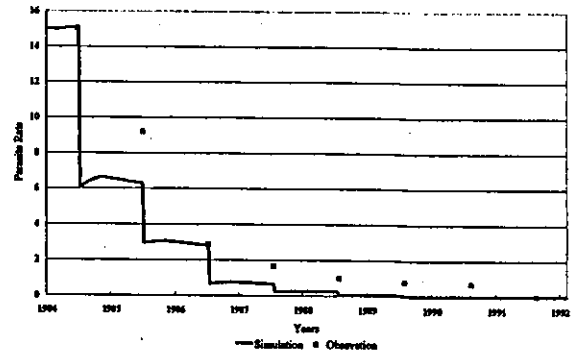


Fig. 4 Comparison between the transition of parasite rate in villagers derived from the model and the parasite rate observed in mass examination of a village located in Kinan-oan River Basin. In a simulation, we used the actual value as intake compliance rate and assumed that the effective rate of molluscicides would be 50%.

It is important to consider the relationship between the model and reality. We performed a follow-up study on the *S. japonica* model. The transition of parasite rate which was derived from the model was compared with the observation value based on a mass examination of villagers located in Kinan-oan River Basin, which showed that the model conforms with the real situation (Fig. 4).

In the *S. japonica* model, we have to give careful consideration to animal reservoirs. When they play a part in the preservation of *S. japonica*, it would be difficult to eliminate *S. japonica* by means of chemical therapy for people only. Generally, it is difficult to manage control for animal reservoirs. Field surveys showed that rats may contribute to *S. japonicum* prevalence. It's possible that *S. japonicum* would prevail in other animals if the prevalence rate rises by a large margin.

Although it is inevitable that a transmission model of zoonosis will have a complicated structure because of the complicated route of transmission, the evolution of the model as a quantitative description of infection can be helpful in planning more suitable control measures.

ACKNOWLEDGMENTS: This work was supported in part by Grant-in-aid for Scientific Research from Japan Society for the Promotion of Science (grant no. 16540105, Prof. H. Ishikawa).

REFERENCES

- Yasuraoka K, Blas B, Matsuda H, Irie Y, Nihei N, Ohmae H, Yokoi H, Hambre R, Pangilinan R, Autentico C, Tanaka H. Approaches to the elimination of Schistosomiasis on the Bohol Island, Philippines. *Jpn J Parasitol*, 1996; 45: 391-399
- Riley S, Fraser C, Donnelly CA, Ghani AC, Abu-Raddad LJ, Hedley AJ, Leung GM, Ho LM, Lam TH, Thach TQ, Chau P, Chan KP, Lo SV, Leung PY, Tsang T, Ho W, Lee KH, Lau EM, Ferguson NM, Anderson RM. Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong Kong: impact of public health interventions. *Science*, 2003; 300:1961-1966
- Ishikawa H, Ohga Y, Doi R. A model for the transmission of *Echinococcus multilocularis* in Hokkaido, Japan. *Parasitology Research*, 2003; 91: 444-451
- Tsunekuni Y, Ishikawa H. Studies on the transmission model of HIV/AIDS among commercial sex workers in Thailand. *J Fac Environ Sci & Tech, Okayama U*, 2003; 8; 1-7
- Garrett-Jones C. The human blood index of malaria vectors in relation to epidemiological assessment. *Bull WHO*, 1964; 30: 241-261
- Dietz K, Molineaux L, Thomas A. A malaria model tested in Africa Savannah. *Bull WHO*, 1974; 50: 347-357
- Ishikawa H, Ishii A, Nagai N, Ohmae H, Harada M, Suguri S, Leafasia J. A mathematical model for the transmission of Plasmodium vivax malaria. *Parasitology International*, 2003; 52: 81-93
- Blas BL, Rosales MI, Lipayon IL, Yasuraoka K, Matsuda H, Hayashi M. The schistosomiasis problem in the Philippines: a review. *Parasitology International*, 2004; 53: 127-134

北海道に蔓延する人獣共通寄生虫・エキノкокスの終宿主 確定診断法の確立とエキノкокクス症感染源対策への応用

野中 成晃

Key words : 人獣共通感染症, エキノкокクス, テニア, 診断, PCR

北海道大学大学院獣医学研究科
動物疾病制御学講座寄生虫学教室

緒言

北海道に蔓延する人獣共通寄生虫, エキノкокクス (多包条虫) は, 成虫がキツネやイヌなどのイヌ科動物 (終宿主) に, 幼虫が齧歯類 (中間宿主) に寄生する (図 1)。人への感染は終宿主糞便中に排泄される虫卵の摂取によって起こり, 放置すると死に至る。北海道ではキツネの感染率の上昇, 都市部への定着, 飼い犬の感染など, 状況は深刻化している。また, 青森県で感染豚が発見され, 本州への侵入が危惧されている。

本症のような野生動物で維持されている感染症は, 獣医学領域からの対策が不可欠である。我々は終宿主の感染率把握のための疫学ツール (診断法) として糞便内抗原検出法を開発し, キツネへの駆虫薬散布 (感染源対策) の効果評価と並びおおよびペットの疫学調査を実施してきた。しかしながら, 1) 虫卵の形態からはテニア

科 (エキノкокクス属とテニア属) 条虫の種の判別ができないこと, および 2) 糞便内抗原検出法がテニア属の胞状条虫や豆状条虫と交差反応するため, テニア科条虫種の確定診断ができなかった。

本研究は, テニア科条虫の種の同定が可能となるように, 終宿主動物から排泄される虫卵に対する DNA 診断法を開発することを目的とした。

方法および結果

1. 虫卵分離および DNA 抽出法についての検討

まず, 糞便からの虫卵分離法について検討した。猫条虫の虫卵 100 個を糞便に添加し, 蔗糖液浮遊法による浮遊虫卵の直接回収と, 浮遊虫卵を, ナイロンメッシュ (ポアサイズ 20 μ m) 濾過法で回収した場合を比較したところ, 後者が効率良く虫卵を回収できることがわかった。

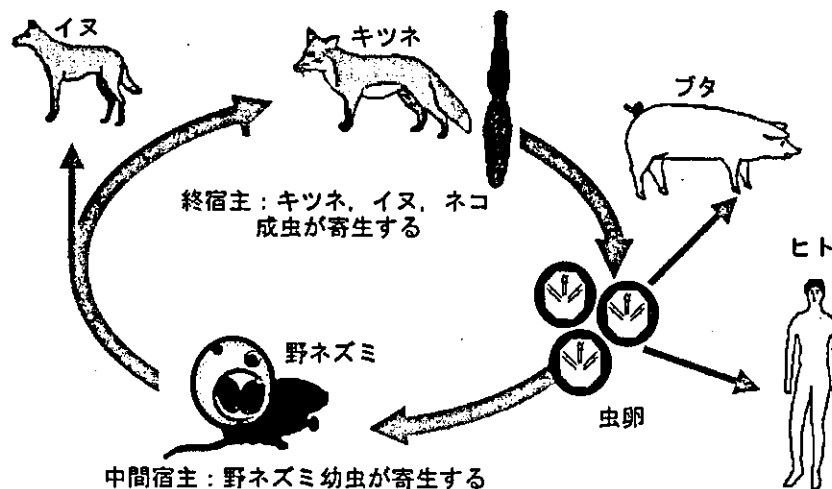


図 1. エキノкокクス (多包条虫) の生活環。

多包条虫は, 成虫がキツネやイヌなどのイヌ科動物 (終宿主) に, 幼虫が齧歯類 (中間宿主) に寄生する。終宿主から排泄された虫卵を摂取することによりヒトやブタが感染する。

テニア科条虫卵はケラチン質の厚い幼虫被殻に包まれているため、虫卵内幼虫からの DNA 抽出には幼虫被殻を取り除く処理が一般的に行われている。そこで、虫卵の幼虫被殻の破壊処理法について検討した。猫条虫と豆状条虫の虫卵 100 個を用いて、KOH 処理、SDS (sodium dodecylsulfate) 添加後の煮沸、凍結・融解処理の 3 種類の幼虫被殻破壊処理を行ったものと無処置のサンプルから QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen) を用いて DNA を抽出した。抽出 DNA を適宜希釈して、扁形動物ミトコンドリア COI (cytochrome oxidase I) 遺伝子に共通のプライマーセット PR-A, B を用いた PCR (polymerase chain reaction) を行ったところ、すべてのサンプルについて同じ希釈段階まで DNA の増幅が確認できた。したがって、虫卵からの DNA 抽出は市販の QIAamp DNA Mini Kit を用いることで、従来必要であった幼虫被殻の破壊処理を省略することができるとわかった。

最後に、虫卵保存方法、殺卵処理が及ぼす PCR への影響について検討した。猫条虫の虫卵 100 個を用いて 1) 1%ホルマリンを添加して室温で保存、2) 70°C で 12 時間加熱、3) -80°C で 3 日間冷凍の処置を行い、DNA を抽出し適宜希釈して (PR-A, B を用いた) PCR

を行った。その結果、ホルマリン固定虫卵では DNA の増幅が認められず、加熱サンプル、冷凍サンプルでは 2 倍希釈まで DNA の増幅を確認することができた。

2. DNA を利用したテニア科条虫種同定法についての検討

エキノコックス属 3 種 (12 株)、およびテニア属 5 種 (23 株) の虫体を用いてミトコンドリア COI 領域の塩基配列を決定した。得られた配列と、文献およびジーンバンクに報告されている各種テニア科条虫種の配列とを比較解析して、多包条虫特異プライマー EmSP1-A & B を構築した (図 2)。各種テニア科条虫の抽出 DNA に対して EmSP1-A & B を用いた PCR を行ったところ、多包条虫でのみ増幅像が得られ、EmSP1-A & B の種特異性が確認された。このプライマーの感度を評価するため、70°C 12 時間加熱した多包条虫卵を用いて PCR を行ったところ、虫卵 1 個分の DNA テンプレートで増幅が確認できた。

さらに COI の遺伝子配列から PCR-RFLP (restriction fragment length polymorphism) によるテニア科条虫種の同定に使用できる制限酵素を推定し、猫条虫 (*EagI*, *XhoI*)、胞状条虫 (*SexA1*)、肥头条虫 (*Sfc1*)、豆状条虫 (*Nsi1*)、羊条虫 (*Msl1*) および多包

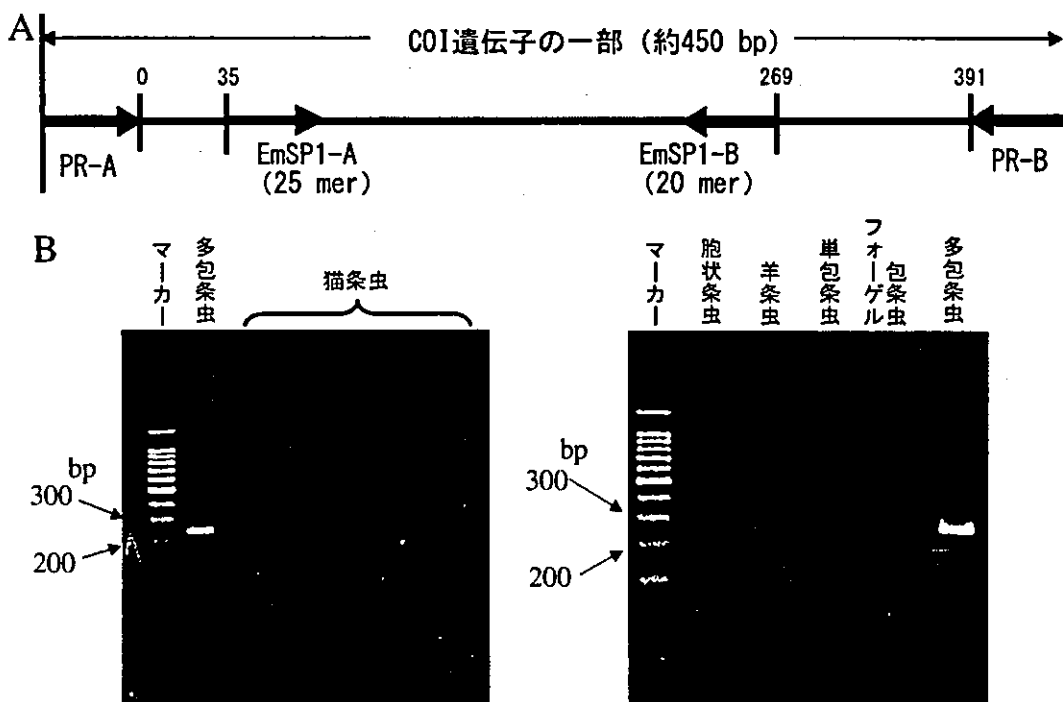


図 2. 多包条虫特異プライマーセット EmSP1-A & B.

A: ミトコンドリア COI 遺伝子に構築した EmSP1-A & B の構造図。B: 各種テニア科条虫の DNA に対して EmSP1-A & B を用いた PCR を行った結果。猫条虫、胞状条虫、羊条虫、フォーゲル包条虫および単包条虫では増幅産物を示すバンドが検出されなかったが、多包条虫のみ約 250 bp のバンドが検出された。

条虫以外の包条虫 3 種 (*EcoRI*, *HphI*) が同定できる可能性が示された。この中で猫から検出される頻度の高い猫条虫の 2 系統を特定する制限酵素 *EagI*, *XhoI* の検証を試みた結果、猫条虫の 2 系統のみが、それぞれ 260 bp と 200 bp, および 280 bp と 170 bp に切断され、その有用性が示された。

3. ペットのエキノコックス感染状況調査への虫卵 DNA 診断法の適用

所属研究室で行っているペットのエキノコックス感染状況調査において、糞便内抗原陽性で、かつ、テニア科条虫卵を排泄していた北海道のイヌ 4 頭に対して虫卵 DNA 診断法を行ったところ、4 頭すべてが多包条虫に感染していたことが確定した。

考 察

以上の結果より、多包条虫については、CO I 領域の特異プライマーにより加熱殺卵された少数の虫卵から同定が可能であり、その他のキツネ、イヌおよびネコを終宿主とする主要なテニア科条虫は、CO I 領域の PCR-RFLP により種の鑑別が可能であることが示唆された。

現在用いられている糞便内抗原と虫卵の検出によるエキノコックス終宿主診断法ではテニア科条虫種の確定診断はできない。北海道ではキツネのテニア属条虫の感染率は非常に低く、現行法の使用は実用面で問題はない。しかしながら、海外や本州など、エキノコックス属とテニア属条虫が混在する（または可能性のある）地域においては今回開発に取り組んだ虫卵 DNA 診断法は有効な疫学解析ツールとなる。ただ、DNA 診断法は非常に特異性の高いものであるが、虫卵から DNA を抽出するため、虫卵排出前の感染動物の検出はできない（例えば多包条虫は終宿主に感染してから虫卵を排泄するまで約 1

カ月を要する）。したがって、虫卵排出前の診断が可能な糞便内抗原検出と虫卵排泄後の虫卵およびその DNA 検出を組合せることにより、より信頼性の高いエキノコックス終宿主診断システムの構築が可能となる。

本研究の共同研究者は、北海道大学大学院獣医学研究科動物疾病制御学講座寄生虫学教室の奥祐三郎および巖城 隆である。

文 献

- 1) Nonaka, N., Iida, M., Yagi, K., Ito, T., Ooi, H. K., Oku, Y. & Kamiya, M. : Time course of coproantigen excretion in *Echinococcus multilocularis* infections in foxes and an alternative definitive host, golden hamsters. *Int. J. Parasitol.*, 26 : 1271-1278, 1996.
- 2) Tsukada, H., Hamazaki, K., Ganzorig, S., Iwaki, T., Konno, K., Lagapa, J. T., Matsuo, K., Ono, A., Shimizu, M., Sakai, H., Morishima, Y., Nonaka, N., Oku, Y. & Kamiya, M. : Potential remedy against *Echinococcus multilocularis* in wild red foxes using baits with anthelmintic distributed around fox breeding dens in Hokkaido, Japan. *Parasitology*, 125 : 119-129, 2002.
- 3) Nonaka, N., Oku, Y. & Kamiya, M. : Control and management of parasitic zoonoses maintained in wildlife : A trial of Hokkaido University against echinococcosis. *In Technology Innovation and Its Relations to Humanities and Social Sciences*, ed. by Nakamura, M. & Ki-Jun, L., Hokkaido University Press, Sapporo, pp 93-101, 2003.
- 4) 神谷正男 : エキノコックス症. *臨床と微生物*, 30 : 401-406, 2003.

VII 人獣共通寄生虫症

3. 顎口虫症

1. 病名

顎口虫症 (gnathostomiasis)。

2. 概要

顎口虫は旋尾線虫類に属し、国内では有棘顎口虫 (*Gnathostoma spinigerum*), ドロレス顎口虫 (*G. doloresi*), 剛棘顎口虫 (*G. hispidum*), 日本顎口虫 (*G. nipponicum*) の4種が報告されている。そのいずれもがヒトに感染し、幼虫移行症、主に皮膚爬行症 (creeping eruption) あるいは遊走性限局性皮膚腫脹 (mobile erythema), を引き起こすが、時に脳、眼に侵入し重篤な症状を呈する重要な人獣共通寄生虫症である¹⁾ (表1)。

3. 感染の疫学

図1に示したように、終宿主はネコ、イヌ、ブタ、イノシシ、イタチなどであり、成虫はそれらの胃壁あるいは食道壁に、顕著な鉤を備える頭球を穿入させ寄生する。時に穿入部位の消化管壁を穿孔する場合もあるが、一般的にさほど顕著な症状を示さない。第1中

間宿主としてケンミジンコ、第2中間宿主あるいは待機宿主としてカエル、サンショウウオ、ヘビに加え、ヒトへの感染源として淡水産魚類が重要である。ヒトは中間宿主あるいは待機宿主であるが、有棘顎口虫では、成虫にまで発育した症例が知られている¹⁾。

1) 有棘顎口虫

日本人は魚類を好んで生食することから、感染者が多く、1911～1995年の間で総数3,182人の顎口虫症患者が報告されている²⁾。その内訳では、有棘顎口虫症が大半を占める。これは感染源である中国の雷魚が国内河川へ放流され、定着繁殖し、刺し身として食されたことに一因がある。戦前では中国で雷魚を食し、いわゆる長江浮腫として報告されたものであるが、後述する剛棘顎口虫によるものとした考えもある³⁾。近年、本種による感染例は減少しているが、雷魚では幼虫の感染が現在でも認められており、今後も注意を払う必要がある。また、海外での感染の可能性も考慮しなければならない。

2) ドロレス顎口虫

ドロレス顎口虫の人体感染は知られていなかったが、1988年に宮崎県で最初の人体感染例が報告されて

表1 国内で認められる顎口虫

	終宿主	終宿主での寄生部位	第2中間宿主/ 待機宿主	ヒトへの推定感染源	主たる国内分布
有棘顎口虫 <i>Gnathostoma spinigerum</i>	ネコ科、イヌ科動物	胃壁	淡水魚類、両棲類、鳥類、は虫類、哺乳類	雷魚、ボラ、コイ、フナなど魚類、ヘビ	中部、南日本
ドロレス顎口虫 <i>G. doloresi</i>	イノシシ、ブタ	胃壁	イモリ、サンショウウオ、カエル、マムシ、ブルーギルなど	ヤマメ	南日本、特に九州
日本顎口虫 <i>G. nipponicum</i>	イタチ	食道壁	ドジョウ、ウグイ、ナマス、ヤマメ、マカガシ、シマヘビなど	ドジョウ、コイ、ヒメマス、シラウオなど	中部・北日本、特に青森、秋田
剛棘顎口虫 <i>G. hispidum</i>	ブタ、イノシシ	胃壁	魚類、両棲類、鳥類	ドジョウ	輸入寄生虫、症例は中部日本以南、特に関西方面に多い

以来、主に九州地方でしばしば検出されている^{3, 4)}。終宿主のイノシシでの寄生率が80～90%と高率で、しかも淡水魚からも幼虫が検出されており⁵⁾、今後も持続的な感染の広がりが推測される。

3) 日本顎口虫

日本顎口虫は、国内のイタチでの成虫寄生が認められていたが、1988年最初の人体感染例が報告された⁶⁾。ところが近年になって、主に東北地方、青森、秋田からの報告^{7, 8)}が相次ぎ、その疫学的・公衆衛生学的重要性が増した。国内のイタチでの寄生率は40%と依然として高く⁹⁾、持続的な流行が懸念される。

4) 剛棘顎口虫

剛棘顎口虫は、中国から輸入されたドジョウが高率に感染しており、飲食店などでいわゆる“オドリ食い”され、1979年頃から感染者が多発した¹⁰⁾。近年、本症に対する公衆衛生学的知識が普及し、患者発生が減少しているが、海外での感染に注意を払う必要がある

う。本種は実験的にブタが終宿主となることがわかっており、中国のブタには3～35%が寄生している¹⁰⁾。国内においては終宿主での自然感染例はまだ報告されていないが、将来的に土着が懸念される種である。

4. ヒトの感染病理

表1や図1に示したような、感染した第2中間宿主あるいは待機宿主を経口的に摂取すると、約1週目以降に、有棘顎口虫の場合には、感染した幼虫が皮下組織の比較的深部を移動するため遊走性限局性腫脹を、一方日本顎口虫などは、真皮または皮下組織の比較的浅い部分を幼虫(図2)が移動するので皮膚爬行疹が出現することが多い。通常、発赤し、顕著な痒みを伴い、水疱を生ずることもある(図3～5)。しかし感染源と考えられる淡水魚を摂取して3カ月後に発症した症例もあることを、考慮しなければならない。

幼虫の移動域は主に体軀幹部であるが、広く顔面や

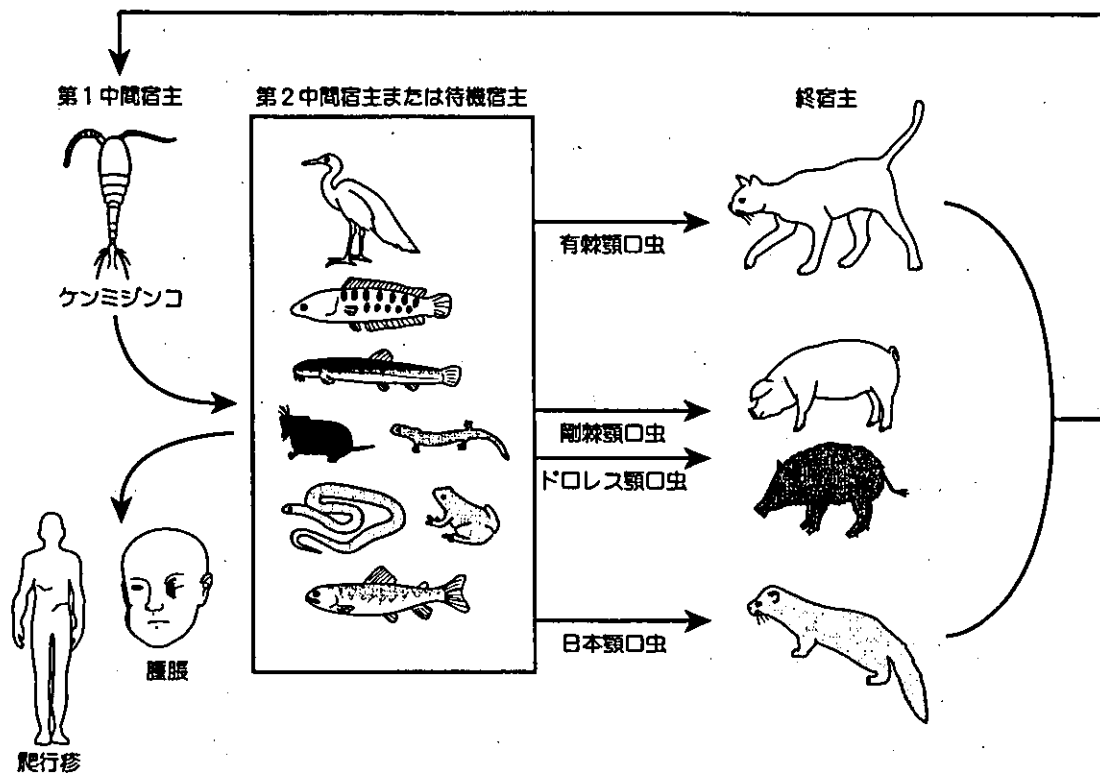


図1 国内で認められる顎口虫4種の生活環
4種の顎口虫の終宿主は異なるが、基本的に同様の感染動態を示す。感染源は淡水魚、両棲類、は虫類などである。



図2 日本顎口虫の第三期幼虫
全長約2 mm。患者切除皮膚組織より検出虫体。
(カラー図譜 35頁)

四肢にも及び、比較的素早く移動する。虫体の移動に伴って爬行疹が消失し、再び別の部位に発現することもまれではない。有棘顎口虫や剛棘顎口虫では、脳や眼に侵入して重大な障害を及ぼすこともある。ドロレス顎口虫による腸閉塞を惹起した症例も報告されている¹¹⁾。

検査所見として、一般的に末梢血好酸球増加あるいはIgE値の上昇などもみられるが、必発ではない。皮膚病巣部の病理組織像では、虫体あるいは虫道の周囲に顕著な好酸球集簇が認められる(図6)。

5. 診断, 治療

1) 診断

診断にあたっては、皮膚爬行疹や限局性移動性腫脹の出現で本症を類推可能である。しかし、ホタルイカなどが感染源となる他の旋尾線虫¹²⁾やマンソン孤虫、糞線虫、鉤虫などによる類似の皮膚爬行症との類症鑑別が必要である。一方、前記顎口虫4種を区別できる

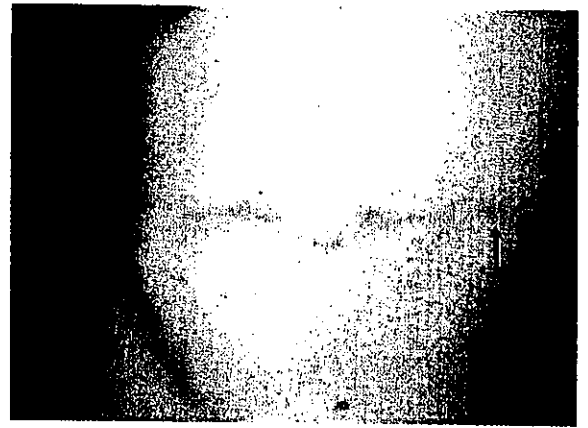


図3 日本顎口虫による皮膚爬行疹
男性左側胸部に認められた日本顎口虫による皮膚爬行疹。虫体は右側から左側へ直線的に移動。↑は虫体検出部位。
(カラー図譜 35頁)

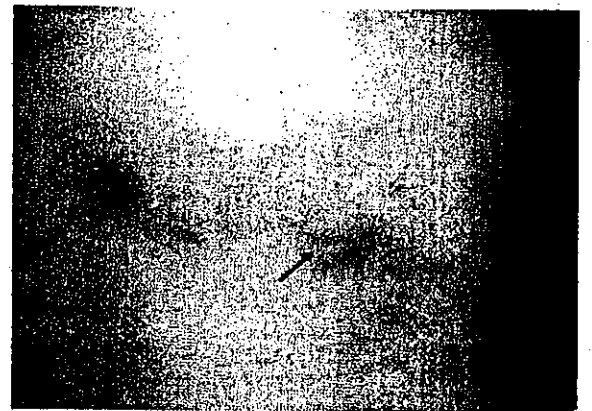


図4 日本顎口虫による皮膚爬行疹
女性上腹部の限られた部分を移動した日本顎口虫による皮膚爬行疹。発赤と腫脹が顕著で、強い痒みを伴った症例。
(カラー図譜 35頁)

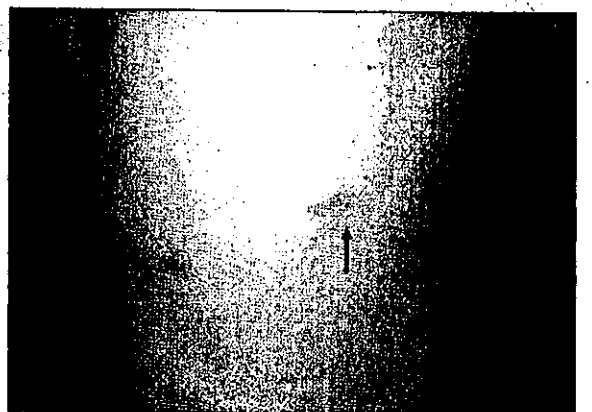


図5 日本顎口虫による皮膚爬行疹
男性左側胸部から左側腹部ついで背部へ移動し、途中で中断した皮膚爬行疹。
(カラー図譜 35頁)

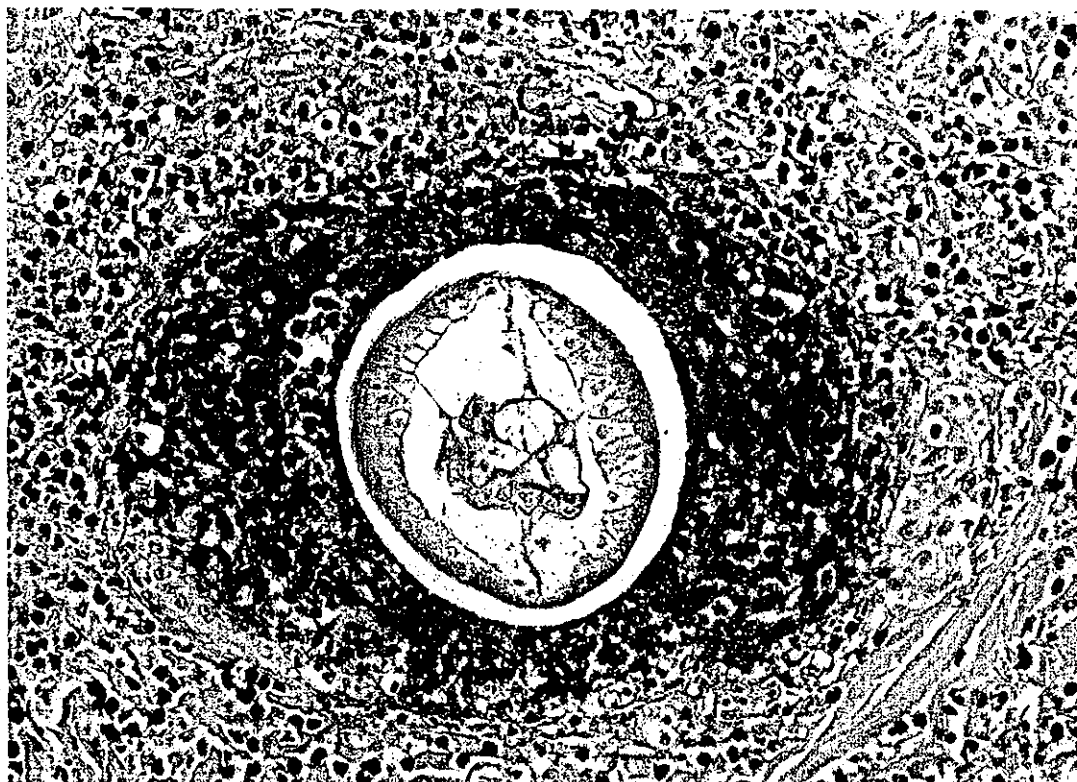


図6 病変部皮膚組織切片から検出された、日本顎口虫幼虫の横切像
顕著な好酸球の集簇が認められる。

(カラー図譜 35頁)

免疫学的方法は確立していない。

確定診断としては、病変部皮膚の切除組織中の虫体を検出することで、頭球部の鉤列数や切除幼虫の腸管細胞の形態で種の鑑別が可能である^{2, 5, 7)}。しかし、病変部より虫体の進行方向を推測して虫体の存在部位を的確に切除することは必ずしも容易ではない²⁾。爬行疹の色素の沈着程度、発疹の新旧を指標にして、進行方向と寄生部位を推測し、少々広く切除することが求められる。その後は、切除組織を虫体の進行方向に考慮し、順に番号を付して切り出せば比較的容易に虫体の存在部位(ブロック)の特定が可能である。加えて連続的に薄切し、その切片中の虫体を立体的に再構築することで、頭鉤数・列数などが明らかになり確定診断ができる。

2) 治療

確実な治療は、虫体を摘出することであるが、移動中の虫体を“捕獲”することは必ずしも容易ではな

い²⁾。しかし、前述した方法で、筆者らはほぼ全症例で虫体の摘出に成功しており、その後の再発を認めていない^{1, 2)}。一方で、17年以上も幼虫が寄生していた実験的報告¹⁰⁾もあり、虫体を摘出できない場合には、十分な注意が必要である。駆虫薬としてアルベンダゾール、メベンダゾールなどが用いられているが、その効果は未だ確定していない。虫体摘出が最も効果的な治療法である現況を考慮すれば、有効な駆虫薬の早急な検討が期待される。

6. 予 防

ヒトへの感染予防は、感染源である淡水魚やヘビ、カエルなど“ゲテモノ”を食しないことにつきる。あるいはそれらを一定期間冷凍することによっても幼虫の感染性は失活する。一方では、ドジョウの剛棘顎口虫第3前期幼虫がブタに感染することを考えれば^{14, 15)}、飲水としての山間部の沢水を介してケンミジンコの第

3期前期幼虫からの感染も考慮する必要がある。いずれにしても、感染予防としては、無処理での中間宿主、待機宿主の摂取を避けることである。

(神谷晴夫)

文 献

- 1) 宮崎一郎, 藤 幸治: 顎口虫症. 図説人獣共通寄生虫症. 九州大学出版会, 福岡, 1988, p641-682
- 2) 安藤勝彦: 顎口虫症 (2) 日本顎口虫症. 日本における寄生虫学の研究 7 : 497-509, 1999
- 3) Ogata K, Imai J, Nawa Y : Three confirmed and five suspected human cases of *Gnathostoma doloresi* infection found in Miyazaki Prefecture, Kyushu. Jpn J Parasitol 37 : 358-364, 1988
- 4) Nawa Y, Imai J, Ogata K, et al : The first record of a confirmed human case of *Gnathostoma doloresi* infection. J Parasitol 75 : 166-169, 1989
- 5) 赤羽啓栄: 顎口虫症 (1) 剛棘顎口虫・ドロレス顎口虫. 日本における寄生虫学の研究 7 : 475-495, 1999
- 6) Ando K, Tanaka H, Taniguchi Y, et al : Two human cases of gnathostomiasis and discovery of a second intermediate host of *Gnathostoma nipponicum* in Japan. J Parasitol 74 : 623-627, 1988
- 7) Sato H, Kamiya H, Hanada K : Five confirmed human cases of gnathostomiasis nipponica recently found in Northern Japan. J Parasitol 78 : 1006-1010, 1992
- 8) 宮内裕子, 花田勝美, 菅原隆光ほか: 日本顎口虫症. 臨床皮膚科 50 : 489-462, 1995
- 9) 遠藤佐保子, 田代 実, 小野忠相: 皮膚顎口虫症の一例. 皮膚 22 : 654, 1980
- 10) Chen Q, Lin X : A survey of epidemiology of *Gnathostoma hispidum* and experimental studies of its larvae in animals. Southeast Asian J Trop Med Publ Hlth 22 : 611-617, 1991
- 11) Seguchi K, Matsumoto M, Kataoka H, et al : A case report of colonic ileus due to eosinophilic nodular lesions caused by *Gnathostoma doloresi* infection. Am J Trop Med Hyg 53 : 263-266, 1995
- 12) 長谷川英男: 旋尾線虫感染症. 日本における寄生虫学の研究 7 : 511-520, 1999
- 13) 小宮義孝: 長江浮腫 (寄生虫学的方向) 研究回顧-第8回野口英世記念医学賞に際して. 医のあゆみ 52 : 78-79, 1965
- 14) Daengsvang S : An experimental study on the life cycle of *Gnathostoma hispidum* Fedchenko, 1872 in Thailand with special reference to the incidence and some significant morphological characters of the adult and larvae stages. Southeast Asian J Trop Med Publ Hlth 3 : 376-389, 1972
- 15) Wang P, Sun Y, Zhao Y : On the development of *Gnathostoma hispidum* in the intermediate host with special reference to its transmission route in pigs. Acta Zool Sinica 22 : 45-52, 1976

VII 人獣共通寄生虫症

5. 旋毛虫症

1. 病名

旋毛虫症 (trichinellosis)。

2. 定義

旋毛虫属 (*Trichinella* spp.) の成虫および幼虫による感染症。

3. 概要

旋毛虫類 (*Trichinella* spp.) はとりわけ宿主域が広く、150 種以上の動物に感染する¹⁾。成虫は小腸に寄生し、産仔された新生幼虫は循環を介し全身に移行後、横紋筋細胞に侵入した幼虫のみ感染期幼虫 (筋肉幼虫) へと発育できる。これらの成虫、新生幼虫および感染期幼虫が、消化器症状、全身症状、神経症状、心筋炎、筋肉痛などさまざまな症状を引き起こす。筋肉内の感染期幼虫が食べられて他の動物に伝播することから、自

然界では肉食獣、もしくは動物の死骸を漁るスカベンジャー動物において流行する。

Trichinella spiralis は 1828 年にヒトから初めて発見され、その後、ヒトとブタの重要な人獣共通寄生虫として知られるようになった。19 世紀末には米国から欧州へ輸入されたブタのうち約 1% が感染していたが、世界的に家畜および公衆衛生の改善によって、現在まで流行が抑えられてきた。当初、旋毛虫は *T. spiralis* 1 属 1 種と考えられていたが、現在では旋毛虫類は 11 型に分けられるようになった。このような研究の進展とともに、*T. spiralis* 以外の種 (もしくは亜種) では野生動物が主たる宿主であることが明らかとなり、野生動物を感染源としたヒトの症例も多数報告されてきた。日本では 1957 年以降に飼い犬や輸入ミンク、動物園動物などから旋毛虫が検出されたが、青森県においてクマ肉が感染源となった人体の集団発生が起こった 1974 年まで注目されなかった。

表 1 *Trichinella* spp. の分類・分布・主たるサイクル

寄生虫	地理的分布	宿主 (主たるサイクル)
筋肉幼虫 非被囊型		
<i>Trichinella pseudospiralis</i> Garkavi, 1972 (T4)	世界中*	哺乳類と鳥類 (野生動物サイクル)
<i>T. papuae</i> Pozio, Owen, Rosa, Sacchi, Rossi, Corona and La Rosa 1999 (T10)	バブアニューギニア	哺乳類 (野生動物サイクル)
<i>T. zimbabwensis</i> Pozio, Foggini, Marucci, La Rosa, Sacchi, Corona, Rossi and Mukaratirwa 2002 (T11)	ジンバブエ	フコと哺乳類 (野生動物サイクル)
筋肉幼虫 被囊型		
<i>Trichinella spiralis</i> (Owen, 1835) Railliet, 1895 (T1)	世界中**	哺乳類 (家畜サイクル)
<i>T. nativa</i> Britov and Boev, 1972 (T2)	北極圏および亜北極圏 (寒帯・亜寒帯)	哺乳類 (野生動物サイクル) (筋肉幼虫は低温耐性)
<i>T. murrelli</i> Pozio, Rosa, and La Rosa, 2000 (T5)	米国	哺乳類 (野生動物サイクル)
<i>Trichinella</i> (T6)	米国	哺乳類 (野生動物サイクル) (筋肉幼虫はやや低温耐性)
<i>T. britovi</i> Pozio, La Rosa, Murrell, and Lichtenfels, 1992 (T3)	ユーラシア大陸 (温帯域)	哺乳類 (野生動物サイクル) (筋肉幼虫はやや低温耐性)
<i>T. britovi</i> (T9)	日本	哺乳類 (野生動物サイクル)
<i>T. nelsoni</i> Britov and Boev, 1972 (T7)	アフリカ (サハラ砂漠以南)	哺乳類 (野生動物サイクル)
<i>Trichinella</i> (T8)	南部アフリカ	哺乳類 (野生動物サイクル)

*: タスマニア, インド, タイ, カザフスタン, ロシア (カムチャツカ), スペイン, イタリア, 米国で散発

** : 北アメリカ, 南米南部, ヨーロッパ, アフリカ北東部, 東南アジア, 中国

4. 病 因

1) 分類

Trichinella 属は線虫綱, 無ハスミッド亜綱, エノブリダ目, トリヒナ科に属する。エノブリダ目には毛細線虫や鞭虫が属し, 食道腺はスティコゾームと呼ばれ, 多数のスティコサイトが縦に並んでいるのが特徴である。*Trichinella* 属では約 50 のスティコサイトがあり, この細胞には 4 型あることが知られている。雄成虫の後端には 2 つの円錐状の突起があり, 交接刺はない。雌成虫は卵胎生である。

現在 *Trichinella* spp. の遺伝子型は T1 から T11 に分けられている(表 1)。感染期幼虫に寄生された筋肉細胞の周囲がコラーゲンで被囊されない種として, *Trichinella pseudospiralis* (T4), *T. papuae* (T10) と *T. zimbabwensis* (T11) があり, *T. pseudospiralis* は小型で, 哺乳類だけでなくさまざまな鳥類にも感染し, *T. papuae* は哺乳類にのみ, *T. zimbabwensis* はワニと哺乳類に感染する。旋毛虫類はほとんどの哺乳動物に寄生し, *T. pseudospiralis* 以外鳥類には感染しない。寄生された筋肉細胞周囲が被囊される種として, *Trichinella spiralis* (T1), *T. nativa* (T2), *T. britovi* (T3 および T9), *T. murrelli* (T5), *Trichinella* (T6), *T. nelsoni* (T7), *Trichinella* (T8) などがある。Poizio et al. (1992) の T6 と T8 はまだ新種記載されていないが, T6 は *T. nativa* に近縁と考えられている³⁾。日本(本州)のクマやタヌキから検出された旋毛虫は *T. britovi* と同定されているが, ヨーロッパの *T. britovi* (T3) とは DNA 解析で差異が認められ, T9 と同定されている³⁾。なお, 旧ソ連系の学者により *T. nelsoni* がヨーロッパにおいても報告されてきたが, これらは *T. britovi* と考えられている。*T. nelsoni* (T7) はサハラ以南のアフリカにのみ分布している。ジンバブエではナイルワニにおいて *T. zimbabwensis* (T11) が流行しているが⁴⁾, これは最近新種として記載された。

2) 生活環

旋毛虫類は独特の伝播・発育様式を有し, すべての発育段階が一個体の動物体内でみられる⁵⁾。感染した動物の筋肉を食べると, 胃腸でその筋肉が消化され,

感染期幼虫が遊離する。感染期幼虫は小腸粘膜に侵入し, 短期間で性成熟に達し, 感染後 2 日目から交尾を開始し, 5 日目から雌は新生幼虫(体長 0.09 ~ 0.12 mm)を産出し始める(図 1)。*T. pseudospiralis* は特に小型で, 雄成虫の体長は 0.6 ~ 0.9 mm, 雌虫体は 1.2 ~ 2.1 mm, その他の *Trichinella* spp. の雄成虫は体長 1.0 ~ 1.8 mm, 雌虫体は 1.3 ~ 4.4 mm である。新生幼虫は腸粘膜固有層から主にリンパ行性, 一部血行性に小腸から移行し, さらに全身循環に乗り, 全身に送られる。横紋筋に侵入した新生幼虫のみが発育し, 筋細胞内において 2 ~ 3 週間で感染期幼虫となる。寄生虫の種および宿主動物種により寄生虫の産仔能力には差があるが, マウスにおける *T. spiralis* の 1 匹の雌虫の一生における産生する筋肉幼虫は 1,600 匹との報告がある。

新生幼虫に侵入された筋線維は横紋消失, 細胞質の塩基性化, 核の膨化という変化が起こる。この変化は単なる変性過程ではなく, この変化した筋細胞は幼虫を介護することから“nurse cell”と呼ばれている。さらに細胞の周辺部が変化し, 幼虫がコラーゲンで被囊される(図 2)。これらの変化は筋肉細胞侵入後 15 ~ 20 日で完了するが, コラーゲンによる被囊はその後も続く。ただし, *T. pseudospiralis* や *T. papuae* は被囊されない。侵入後 10 ~ 20 日にはこの寄生された細胞から血管内皮増殖因子が出され, 周辺に毛細血管が発達し, 寄生された細胞を取り囲むようになる。筋肉細胞内では幼虫は脱皮を行わず, 体長は 0.6 ~ 1.0 mm まで発育する(小型の *T. pseudospiralis* は 0.6 ~ 0.8 mm)。成虫の寄生期間は短く, 2 週 ~ 1 カ月でほとんどの虫体が腸から排除されるが, 筋肉内の幼虫は発育を停止したまま数年から 10 数年間生き残り, 感染した宿主が捕食されるか, 斃死して死骸が他の宿主に食べられるのを待つ(図 3)。

死骸における感染期幼虫の生存期間は温度に依存し, 室温で保存された場合には長いもので 4 週間ほど生存できる。低温に対する抵抗性については, 顕著な種差があり(表 1), 低温に対し特に抵抗性である *T. nativa* は氷点下でも生存し, キツネやクマの死体で 3 ~ 5 年間も生存できる¹⁾。死骸中の感染期幼虫の長期



図1 小腸粘膜に寄生する成虫 (HE切片)
主に粘膜上皮層に寄生し、新生幼虫を産子する。

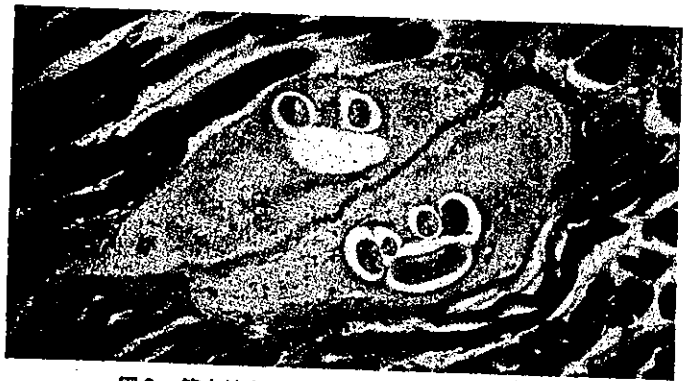


図2 筋肉幼虫が寄生する nurse cell (HE切片)
nurse cellは筋線維が消失し、細胞質の塩基性変化、核の膨化が見られる。

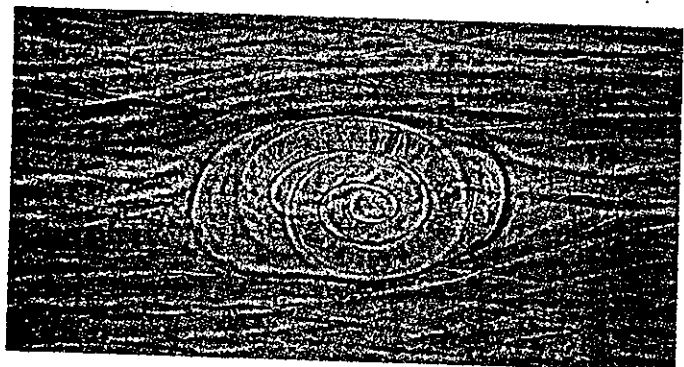


図3 筋肉内の感染期幼虫 (圧扁標本)
筋肉細胞内に寄生し、通常は1虫体であるが、重度の感染では2虫体寄生することもある。

間の生存は伝播の機会を増やすことになる。低温に対する抵抗性の旋毛虫類の種差については、感染マウスを -10°C で保存した場合、*T. pseudospiralis*や*T. nelsoni*はすぐに死滅するが、*T. spiralis*は12～48時間、T5は12～108時間、*T. britovi*は4～7日間、T6は5～13日間、*T. nativa*は8～22日間生存する¹⁾。前述のキツネやクマの報告とマウスの実験結果からも、低温下における生存期間については、宿主動物種間でも顕著な差があることが示されている。

5. 動物での感染症

1) 宿主

一般に変温動物は旋毛虫類に対して抵抗性であるが、*T. spiralis*を 37°C で飼育したは虫類に感染すると、繁殖することが実験的に示されている。*T. zimbabwensis*はワニにおいて筋肉内で感染期幼虫にまで發育でき、

養殖場におけるワニの感染率は40%ときわめて高い²⁾。鳥類も一般に旋毛虫類に対して抵抗性であるが、*T. pseudospiralis*はさまざまな鳥類から検出されている。一方、ほとんどすべての哺乳動物は旋毛虫類に対して感受性を有すると考えられている³⁾。肉食獣やげっ歯類だけでなく、草食獣も感受性がある。*T. spiralis*のブタへの実験感染では筋肉から多数の幼虫が検出されるが、その他の旋毛虫類の感染実験では筋肉から回収される幼虫数が少ない。また、ラットおよびマウスへの感染実験でも、*T. spiralis*と*T. pseudospiralis*に対しては感受性が高いが、*T. nativa*、*T. britovi*、*T. murrelli*、*T. nelsoni*およびT6に対してはやや抵抗性であることが示されている。

この感受性・抵抗性の判断は、感染後の経過とともに筋肉内の幼虫が死滅して減少することがあるので腸内の成虫に対する感受性とは別である。例えば、ニワ

トリは *T. spiralis* に対して抵抗性といわれているが、ニワトリの腸管において成虫は発育し、新生幼虫を産出できる。しかし、幼虫はニワトリの筋肉内で発育できないので、抵抗性とされている。ウマでも *T. spiralis* 感染後時間の経過とともに急速に筋肉内の幼虫が減少し、数カ月後には消失することが知られている。なお、草食獣の食性から考えると、ウマやヒツジが旋毛虫に感染する機会はほとんどないと予想されるが、フランスやイタリアでのヒトの感染源として馬肉の重要性が示されている。

動物における旋毛虫類の流行は以下のように家畜サイクルと、野生動物サイクルに大別できる。

2) 家畜サイクル

家畜サイクルでは主にブタおよび住家性ネズミ（家ネズミ）が重要で、さらにイヌやネコなども関与するヒトの生活と関連した伝播サイクルである^{1, 4)}。このサイクルは最も *T. spiralis* の伝播において重要で、本種は古くから人獣共通寄生虫として重要視されており、世界中のヒトの生活する地域で広くみられる。世界的な傾向として、① 屠畜場における旋毛虫検査の実施、② ブタの飼育方法や飼育環境の変化（餌としての残飯給与の減少、小規模養豚農家の減少、大規模農家からの出荷豚による市場の独占化傾向、豚舎からのドブネズミの駆逐）などによりブタの旋毛虫感染率は非常に低くなってきた。例えば、ブタの旋毛虫検査が昔から行われてきたドイツでは、1872年の0.06%から、1900年代の0.01%以下、1960年代の0.0001%以下と激減している。

しかし、現在でも流行している地域がある。1990～1999年におけるリトアニアのブタの感染率は0.03%、ルーマニアでは0.04～0.15%である。これらの国の感染豚は一部大規模農家由来のものも含まれるが、主に小規模養豚農家に由来する。また、1967年から1983年までのタイで検出された感染豚（平均感染率は0.0015%）のほとんどは北部の山岳民族の地域のブタで、これらは庭先で放し飼いされたブタである。ソ連でもブタの感染率は低いが、ブタから検出される地域は主に森林にブタを放牧しているような地域である。中国（1985年以降）ではブタの感染率は地域によって

かなり異なり0.0001～34.20%とさまざまで、家ネズミは1.98～15.06%。イヌは3.3～44.8%の感染率である。特に、ブタと家ネズミの感染率には相関があり、旋毛虫伝播における家ネズミの重要性が示唆されている。アフリカ北東部の一部でも *T. spiralis* が分布し、エジプトは高度の流行地で、ブタ（3～5%）、家ネズミ類（高い場合は10%以上）およびオオカミ、イヌ（高い場合は9.5%）から筋肉幼虫が検出されている。メキシコおよび南米（チリおよびアルゼンチン）でも *T. spiralis* が流行し、特にチリのブタの感染率は1990～1996年が0.011%で、イヌおよびネコの感染率はそれぞれ2～4%、3%である。アルゼンチンでは1996～1999年に1,000頭以上の感染豚が検出されている。

ブタだけでなくウマ、ヒツジおよびラクダからも旋毛虫が時折検出されている。フランスとイタリアで馬肉が感染源となったヒトの集団発生例ではカナダ、旧ユーゴスラビア、メキシコ、ポーランドおよび米国からの輸入馬肉によるものであった。また1980年にエジプトからドイツに輸入されたラクダ乾肉を感染源とするヒトの集団発生が報告されている。

家畜サイクルの *T. spiralis* が農家周辺の野生動物にも伝播することもある。例えばブタの感染率の高いスペインおよびフィンランドのある地域ではイノシシの感染率は0.48%および1.3%で、ヨーロッパ諸国におけるイノシシとブタでの旋毛虫の検出率が相関している。米国における旋毛虫の流行状況については、ブタの血清7,987件の抗体調査で感染率は0.013%と報告されており、現在でも感染豚が見つけれられている。豚舎周辺の動物への伝播の可能性については、米国のある農場で調べられ、農家周辺に生息するスカンク、オポッサム、アライグマ、野良猫などから *T. spiralis* が検出されている。以上のように、*T. spiralis* は主に家畜サイクルで伝播しているが、ヒトの生活する地域の周辺では野生動物サイクルも存在するものと考えられている。パプアニューギニアでは *T. papuae* がブタから、その後野生のブタ（6/68：9%）からも検出され、その他の野生動物からは検出されていない。

3) 野生動物サイクル

T. spiralis 以外の旋毛虫類はすべて野生動物サイク

ルが主である。*T. nativa* は北半球の寒帯域に広く流行している⁹⁾。海における伝播に関与する動物として、ホッキョクグマの感染率がとりわけ高く（アラスカ 60.9%）、陸地（ツンドラ地帯）では、ホッキョクギツネ、オオカミ、アカギツネ、ヒグマ、オオヤマネコなどが重要である。このような野生動物間の伝播でも人的活動の影響もあり、射殺した動物の野外への放置や、捕獲のための餌として野生動物の肉を用いることなどにより野生動物への感染源を提供している場合が考えられる。グリーンランドのそり犬で高い感染率（75%）が知られている。

亜寒帯では主に野生動物サイクルが、温帯地域では家畜サイクルと野生動物サイクルの旋毛虫類が共存している。ヨーロッパでは主に *T. britovi* と *T. spiralis*、さらに一部では *T. nativa* が、旧ソ連および中国には *T. nativa*、*T. spiralis* や *T. britovi* が、北米には *T. spiralis*、*T. murrelli*、*T. nativa* および *Trichinella* (T6) が分布している。旋毛虫類の野生動物サイクルでは個体数の多いアカギツネ、アライグマ、タヌキが最も重要で、さらにクマ、オオカミ、ヤマネコ、イノシシ、さらにイタチ科のアナグマ、テンなども関与する。家畜での *T. nativa*、*T. britovi*、*T. murrelli*、*Trichinella* (T6) 感染は散発的である。

ヨーロッパでは旋毛虫類の家畜サイクルと野生動物サイクルとの棲み分けがみられ、平地部では *T. spiralis* がブタに、山間部では *T. britovi* がキツネなどに流行する¹⁰⁾。旧ソ連における膨大な旋毛虫類調査の集計（1969～1983年；337,000頭以上）で高率に検出された動物は、オオカミ（33～65%）、ヒグマ（10～54%）、タヌキ（32～40%）、アカギツネ（7～38%）、オオヤマネコ（29%）の順で、イノシシは0.23～0.8%と低率であった。これらの旧ソ連で検出された旋毛虫のほとんどは *T. nativa* と考えられる。近年のヨーロッパのキツネの感染率は0.07～2.01%で、この旋毛虫のほとんどは *T. britovi* と思われる。

一方、米国テキサスのコヨーテの調査では、4.5%（7/155）から *T. murrelli* が検出されている。サハラ砂漠以南では *T. nelsoni* が野生動物サイクルで維持されており、イノシシ、さまざまなネコ科動物、ハイエナ、

キツネ、ジャッカル、イヌなどの哺乳動物から検出されている。オーストラリアでは旋毛虫は見つかっていないが、オセアニアには興味深い2種の旋毛虫が分布している。筋肉幼虫が被囊されない *T. pseudospiralis* と *T. papue* である。前者は世界各地で散発的に検出されるが、タスマニアでの有袋類の *T. pseudospiralis* の感染率は26～34%と非常に高い。*T. papue* はジンバブエの *T. zimbabweensis* と近縁と考えられている。

わが国では3回のヒトの集団発生があったため¹¹⁾、多くの調査が行われてきたが、1998年までの旋毛虫の発見報告は、北海道の飼い犬（1例）、北海道のヒグマ（1例）、ツキノワグマ（2/161）、青森県のキツネ（1例）、山形県のタヌキ（1/62）、兵庫県のツキノワグマ（1例）があるのみで、ほとんどが偶然発見された例である。本州のタヌキ62頭およびキツネ16頭、北海道のキツネ198頭、ヒグマ75頭の調査が行われたが、旋毛虫は全く検出されなかった。しかし、1999～2000年の北海道（小樽）のキツネとタヌキの調査では16.2%（24/148）および9.8%（4/41）と高率に旋毛虫が検出され、北海道では旋毛虫が野生動物間で流行していることが示された¹²⁾。日本のこれらの旋毛虫類の分類については、本州は *T. britovi* (T9)、北海道は *T. nativa* と同定されている。これら以外に、動物園動物（エゾクロテン、ホッキョクグマ、トラ、クロヒョウなど）や輸入された動物（ミンク）からも旋毛虫が検出されているが、これらは国外もしくは動物園内で感染したものと推定される。しかし、1957年において飼い犬から発見された例は国内感染と考えられ、北海道では以前から *T. nativa* が野生動物や家畜において定着していたものと考えられる。以上のように日本には野生動物サイクルのあることが判明しているが、家畜サイクルの存在は証明されていない。

4) 臨床症状および病原性

野生動物に対する病原性の研究は限られているが、一般に筋肉1gあたりの感染期幼虫数は0.1～10虫体が普通で、50虫体以上は例外的であることから、このような軽度感染で症状は示さないと考えられる。家畜は感染しても臨床症状を発現することはほとんどなく、まれに下痢、食欲不振、増体量の減少がある程度