特集1・水系感染症対策技術

レジオネラ汚染とその対策

遠 藤 卓 郎*・八木田 健 司*・泉 山 信 司*

キーワード：レジオネラ，宿主アメーバ，バイオフィルム

1. はじめに

近年の生活環境は万般にわたり著しく変化しており，生活に密着する水環境の変容も著しいものがある．ところで，大多数の感染症は新興・再興感染症という言葉で表されるように，環境や生活習慣の変化に伴って消長を繰り返すものと理解される．その中で，レジオネラ症は新興感染症の典型例とも言えるもので，1976年12月，米国フィラデルフィアのあるホテルを舞台に原因不明の肺炎が集団発生したことで知られるところとなった．その後の調査で病原細菌が特定され，レジオネラ (*Legionella*) と命名された．以来，レジオネラ症は冷却塔水を初めとした様々な水系を感染源として発生していることが明らかとなっている．我が国でも既に数件の大規模な集団感染が発生しており（表1），2002年7月に宮崎県日向市で発生した事例は国内最大規模となり，7名の犠牲者が出た．

本稿では，レジオネラ汚染の典型例として循環式浴槽を例に汚染の実態と増殖のメカニズムを述べるが，この問題の波及するところは循環式浴槽にとどまらない．なぜならば，後述するようにレジオネラ

の増殖には他の微生物が深く関与しており，この問題はレジオネラという特定の細菌汚染として捉えるのではなく，むしろ水系に発生するバイオフィルム問題と認識すべきである．今後，この問題は水道水から水景水に至るまで，あらゆる水系環境の課題となろう．

2. わが国におけるレジオネラ症の発生状況

レジオネラ症は1999年4月に施行された「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律（感染症法）」において全臨床医に届け出義務のある4類感染症となっている．感染症法施行から2002年12月末までに465例のレジオネラ症患者が診断されている¹⁾．この間，届け出の時点で死亡が報告されたのは34例（7.3%）であった．かつて，レジオネラ症は冷却塔の稼動に伴って8月に患者発生が増加するとみられていたが，最近の発生状況をみると季節性は認められない．一方，年齢や性差には明らかな傾向が認められ，患者の発生は60代（平均60.8歳）をピークとした一峰性の分布を示し，成人では20～95歳にわたり分布している．また，理由は不明であるが男性患者が全体の83%を占めてお

表1 近年のレジオネラ肺炎集団感染事例

年月	地域	感染源	患者数	備考
2000.1	広島県	病院加湿器	2名	(新生児)
2000.1～8	山形県	温泉施設	8名	
2000.3	静岡県	温泉施設	23名	死亡2名
2000.6	茨城県	温泉施設	43名	死亡3名
2002.7	宮崎県	温泉施設	295名	確定34名，死亡7名
2002.8	鹿児島県	温泉施設	9名	確定9名，死亡1名

Legionella : Epidemiology, microbiology and control

*国立感染症研究所 Takuro ENDO, Kenji YAGITA, Shinji IZUMIYAMA

り、男性に偏って発生している。

3. レジオネラの増殖形態

レジオネラ汚染に関して最も重要な点は、増殖の場としてのアメーバ等原虫類の存在である。レジオネラがアメーバやある種の原虫を介在させて爆発的に増殖する構図が明らかとなったのは1980年代以降のことである²⁾。これまでに、レジオネラの宿主アメーバとして、*Acanthamoeba*, *Hartmannella*, *Echinamoeba*, *Vannella* および *Naegleria* などが知られている。いずれも $30\mu\text{m}$ ほどの小型種で、温水環境に棲息するアメーバである。場合によっては 50°C 近い温水からも検出される。これらの生活様式は栄養体のみが知られるものと、シスト（嚢子）形成をするものが知られている。シストは休眠状態で、環境が好転すれば再び栄養体に戻り増殖を始める。宿主アメーバのうち、*Vannella* を除き全てがシスト形成する。アメーバの検出方法は、エサとして大腸菌を塗布した寒天培地に試料を接種して培養する方法がとられる³⁾。図-1に環境中でのレジオネラの増殖様式を模式化して示した。レジオネラ属菌はアメーバの食胞内に取込まれるが消化を免れて、増殖を開始する。食胞は菌の増殖に伴い膨張し、やがてアメーバの崩壊に至る。この時期には食胞内で激しく運動するレジオネラが観察されるが、やがて食胞が破裂してレジオネラは外界に遊出する。

宿主アメーバは、レジオネラの拡散にも役割を果たす。すなわち、水中での移動のみならず、シスト内の菌は乾燥状態にさらされることなく、遠距離を移動することが可能となる。加えて、ヒトへの感染

様式としてアメーバを重要視する意見がある⁴⁾。先に述べたごとく、レジオネラは宿主アメーバ内で食胞に包まれて増殖するが、アメーバが壊れる際にしばしば食胞ごと水中に放出されることが観察されている。このような食胞を吸引すれば一度に多量の菌を吸入するところとなり、極めて危険である。

4. 水利用設備におけるレジオネラ汚染状況と管理

著者らが行ってきた実態調査では、以下の2点が明らかになっている。すなわち、*Hartmannella* や *Naegleria* を中心とした宿主アメーバは人工温水環境に幅広く存在すること、特に循環式浴槽のろ過システムにおいて多量に発生していることである。これに伴ってレジオネラ汚染が進行する。

5. 循環式浴槽

現在、循環式浴槽は温泉や公衆浴場等に広く普及しているが、これを介してレジオネラ症の感染事故が繰り返し報告されている（表1）。循環式浴槽には浴水の再利用にむけて浮遊物の除去と、微生物による有機物の分解（生物浄化）という2つの機能が必要で、後者の機能をまかなう装置として多量の微生物を保持するろ過槽が設備されている。ところが、バイオフィーム中の微生物種を制御する適切な術はなく、畢竟、宿主アメーバ類の定着、ひいてはレジオネラの増殖を招くところとなる。また、管理次第では浴槽水と接しているあらゆる構造物の表面でバイオフィームの着生・増殖が免れず、系全体がレジオネラの増殖の場となっている実態も浮き彫り

図-1 環境中でのレジオネラの増殖様式（八木田ら原図）

にされている。

筆者等は平成13年度からの厚生省生活安全総合研究事業として、温泉等の入浴施設を中心とした温環境中のアメーバ類に関する全国の実態調査を行ってきた⁵⁾。現況は温泉施設の多くが循環式を採用しており、その浴用水からは多種類のアメーバが検出されている。237の温泉施設を対象として行った調査では、64%の施設からアメーバが検出された。一方、源泉ではアメーバ等の微生物汚染は認められず、温水の貯留を機に汚染が進行する実態が確認されている。1998年の神奈川県下の温泉でレジオネラとアメーバの同時調査を行った結果でも *Hartmannella* を始めとする多種類のアメーバが検出され(表2)⁶⁾、レジオネラは浴槽水の70%から検出された。このような傾向は一般家庭の循環式浴槽水においても同様で、宿主アメーバの検出率は74%に達した⁷⁾。ちなみに、宿主アメーバ陽性試料におけるレジオネラ菌数は 10^3 CFU/100 ml をピークに 10^2 CFU ~ 10^5 CFU/100 ml の範囲であった。

当然のことながら、ろ過装置のアメーバ汚染は浴槽水をはるかにしのぐ。*Acanthamoeba* を例にとれば、浴槽水から検出されない場合であっても、ろ材の36%から検出され、量的にもろ材のほうが1

~2桁多い値が示されている(表3)。レジオネラについても同様で⁸⁾、浴槽水中の菌がろ過装置より供給されていることは明らかである。このような状況を反映して、ろ過槽や配管系の消毒・洗浄を伴わない換水はレジオネラ対策としては全く無効であることが指摘される。一例を示せば、換水前に 10^3 CFU/100 ml であったものが、換水直後には不検出となりあたかも換水の効果があるようであるが、2時間程度の循環後には菌数は換水前の値にまで回復する。

現在までに確認されているレジオネラ対策の有効な手段は次亜塩素酸等の注入による消毒と残留塩素濃度管理(0.2~0.4 mg/l)、すなわち徹底したバイオフィーム管理である。残塩の管理に加え、水温を20℃以下あるいは55℃以上に保つこと、あるいはいかに滞留・貯留を防ぐかも重要である。循環式浴槽では配管系の洗浄に過酸化水素などが用いられているが、バイオフィームの再発生を抑制する上で洗浄後の塩素管理が欠かせない。ここで明らかなことは、循環式浴槽に必須の生物浄化機構とレジオネラ対策として行う残塩管理は両立しない、矛盾する、ということである。

実機レベルでは、洗浄・消毒の後に速やかなレジオネラの回復に悩まされる。この原因はバイオフィームの一部が消毒後も残存していることによるものと考えられる。バイオフィームが形成されると薬剤等の浸透性が低下することは良く知られているところである。アメーバのシスト自体も強い塩素耐性を示す。例えば、*Acanthamoeba* のシストは実験的に50 mg/l の塩素に耐性を示し、シスト内のレジオネラはアメーバが栄養体に戻るとともに再び増殖を開始する⁹⁾。

6. 冷 却 塔

レジオネラ肺炎の発見の歴史は冷却塔を介した米国フィラデルフィアでの集団感染から始まっており、冷却水は世界各地で感染源となってきた。冷却水は水温が25~35℃程度で、開放系であることから微生物や藻類の増殖に好適な環境となっている。大規模冷却塔では冷却水の管理に対する認識が高く、濃縮管理や各種の水処理剤による消毒・殺菌処理が行われており、その中にレジオネラ対策が含まれている割合は高い。一方、小型冷却水設備での水質管理は今後とも啓発・強化が必要である。著者ら

表2 循環式浴槽の浴用水調査における自由活性アメーバの検出結果

検出アメーバ	検出率 (n=43)
<i>Hartmannella</i>	65.1 %
<i>Vexillifera</i>	46.5
<i>Naegleria</i>	27.9
<i>Vannella</i>	18.6
<i>Filamoeba</i>	11.6
<i>Aconchulimida</i>	4.7
<i>Acanthamoeba</i>	2.3
<i>Sacamoeba</i>	2.3

表3 循環式浴槽における浴槽水とろ材のアメーバ数

モニター	浴槽水 ¹⁾	ろ材 ²⁾
A	10	1,250
B	8	4,400
C	0	1,650
D	72	5,000
E	1	700
F	200	10,000

1) 50 ml あたりのアメーバ数

2) ろ材50 ml あたりのアメーバ数

が冷却塔水180試料についてアメーバとレジオネラの調査を行った結果、アメーバ類が頻繁に検出され(検出率90%)¹⁰⁾、レジオネラ検出との相関が示された。他に、冷却塔におけるレジオネラ菌数は水温、pHならびにアメーバを含む原生動物量とよく相関し、従属栄養細菌数とは相関が見られないという報告もある¹¹⁾。

ちなみに、冷却塔では循環水の0.45%が飛沫水となって飛散する¹²⁾。そのため、風向等を考慮した上で、外気取入口、居室の窓および人が活動する場所と冷却塔を約10m以上離すことが定められている¹³⁾。隣接する他の建物の窓等から10m離れていない場合にはルーバ等の障壁を設置するなどの対策が採られている。また、角型(散水と空気の流れがクロスフロー)に比べ丸型(カウンターフロー)の冷却塔の方が水を上に飛散させやすいので、大容量の冷却塔を設置する場合には節水の観点からも角型冷却塔が推奨されている。近年では密閉式の冷却塔も普及しつつある。

7. 給湯施設

院内感染レジオネラ症では、給湯水系が感染源となっている場合が多い。国内では都内の大学病院新生児室における感染事例との関連が知られている。病院は新生児、高齢者、免疫不全患者などレジオネラ感染の高リスクグループが集中している施設であることから、より一層の注意が必要である。

温水シャワーの使用が感染と関連した事例で、*Hartmannella*ならびに*Naegleria*等の検出率と*L. pneumophila*検出率が有意に相関していたことが報告されている¹⁴⁾。移植手術室の温・冷給水に関する調査では、様々な原生動物種が検出され、レジオネラ検出率は55%であったとの報告がある¹⁵⁾。

中央式給湯設備での注意点としては、給湯水が常時循環していること、加熱により残留塩素が減少・消失しやすいことなどがあげられ、給湯温度、系内での給湯水の滞留防止、清掃などに関して厳密な管理が必要となる。規模の大小・形状を問わず、最も条件が悪いと考えられる給湯栓からの湯の温度は、初流水を捨て、湯温が一定になった時点で55℃以上を保障することが重要である。

8. 加湿器

加湿器の本来の機能がエアロゾル発生装置である

ことから、その設置・使用に際しては特にレジオネラ汚染を考慮する必要がある。すでによく知られるところであるが、超音波式と回転霧化・遠心噴霧式の加湿器は構造上レジオネラ汚染につながりやすいことが指摘されている。なお、ビル空調機に組み込まれた加湿器にあっては厚生労働省通知¹⁶⁾により水道法第4条に規定する水質基準に準ずるものとすることが規定されている。家庭用の加湿器においても同様の注意が必要で、常にタンク内のバイオフィーム発生防止に心がけなければならない。

9. 水景施設

近年では噴水など多くの水景施設が公共の場等に好んで設置されているが、今後は施設の形状や設置そのものを見直していく必要があるものと考えている。また、現存する施設では水景水中でのレジオネラ発生防止と併せて、エアロゾル発生・飛散防止に注意する必要がある。

10. 後記

レジオネラ汚染の背景には宿主アメーバの増殖があり、アメーバ対策こそがレジオネラ対策であるとの認識が必要である。そのアメーバ対策をバイオフィーム対策と言い換えることができ、水道水から水景水に至るまでのあらゆる水系環境においていかにバイオフィームをコントロールするかが今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 〈特集〉レジオネラ症 1999.4～2002.12. IASR (病原微生物検出情報), 24 (2), 27-28, (2003)
- 2) Fields, B.S., Sanden, G.N., Barbaree, J.M., Morrill, W.E., Wodowsky, R.M., White, E.H. and Feeley, C.J.: Intracellular multiplication on *Legionella pneumophila* in amoebae isolated from hospital hot water tanks, *Curr Microbiol*, 18, 131-137, (1989)
- 3) 厚生省生活衛生局企画課 (監修): 新版レジオネラ症防止指針, (財)ビル管理教育センター, 東京, (1999)
- 4) Brieland, J.K., Fantone, J.C., Remick, D.G., LeGendre, M., McClain, M. and Engleberg, N.C.: The role of *Legionella pneumophila*-infected *Hartmannella vermiformis* as an infectious particle in a murine model of legionnaires' disease, *Infect Immun*, 65, 5330-5333, (1997)
- 5) 遠藤卓郎: 温泉・公衆浴場, その他の温水環境におけるアメーバ性髄膜炎の病原体*Naegleria fowleri*の疫学と病原性に関する研究, 平成13年度厚生科学研究費補助金, 生活安全総合研究事業報告書, (2002)
- 6) 黒木俊郎, 八木田健司, 藪内英子, 縣邦雄, 石間智生, 勝部泰次, 遠藤卓郎: 神奈川県温泉浴槽水中における*Legionella*属菌と自由生活性アメーバ調査, 感染症学雑誌

- 誌, 72 (10), 1050-1055, (1998)
- 7) 八木田健司, 遠藤卓郎, 太田宗広, 戴内英子: 家庭用循環式浴槽の浴用水からの *Legionella* 属菌の宿主アメーバ類の検出, 日本環境感染学会誌, 12 (2), 89-93, (1997)
 - 8) 高橋武秀, 戴内英子, 遠藤卓郎, 古畑勝則: 「24時間風呂」の衛生問題と行政の対応, 日本環境感染学会誌, 13 (2), 129-136, (1998)
 - 9) Kilvington, S and Price, J.: Survival of *Legionella pneumophila* within cysts of *Acanthamoeba polyphaga* following chlorine exposure, J Appl Bacteriol, 68, 519-525, (1990)
 - 10) 遠藤卓郎: レジオネラとアメーバ類の共生 (寄生) 関係に関する調査研究, 平成6年度ヒューマンサイエンス基礎研究事業報告第4分野, pp862-868, (1995)
 - 11) Yamamoto, H., Sugiura, M., Kusunoki, S., Ezaki, T., Ikeda, M. and Yabuuchi, E.: Factors stimulating propagation of legionellae in cooling tower water, Appl Environ Microbiol, 58, 1394-1397, (1992)
 - 12) 手塚俊一: 第7編 第2章 冷却塔, 空気調和・衛生工学便覧Ⅱ, (社)空気調和・衛生工学会 502, (1987)
 - 13) 吉澤 晋, 齊藤 勝, 下田 豊, 古橋秀雄: 建築物の環境衛生に関するガイドライン, (財)ビル管理教育センター, 51, (1993)
 - 14) Breiman, R.F., Fields, B.S., Sanden, G.N., Volmer, L., Meier, A. and Spika, J.S.: Association of shower use with Legionnaire's disease, JAMA, 263, 2924-2926, (1990)
 - 15) Patterson, W.J., Hay, J., Seal, D.V. and McLuckie, J.C.: Colonization of transplant unit water supplies with *Legionella* and protozoa: precautions required to reduce the risk of legionellosis, J Hosp Infect, 37, 7-17, (1997)
 - 16) 平成11年11月26日付生衛発第1679号厚生省生活衛生局長通知 (建築物におけるレジオネラ症防止対策について)

● WORK・ねっとわーく ●

今森英幸

(株)CRC ソリューションズ
公共システム事業部
テーマ: 世界文化遺産の島

4月27日のゴールデンウィークに安芸の宮島を訪れた。宮島はJR宮島口からフェリーに乗って約10分と近い島である。

フェリーからも厳島神社の海に浮かぶ大鳥居が見え、私が行ったときは、ちょうど鳥居を塗り替えた直後で朱色がすばらしくきれいであった。島に渡ると、まず、鳩の歓迎を受け、鹿が出迎えてくれた。

当日は、前日から東儀秀樹 (雅楽) のコンサートが予定されており、島内はコンサートの来場者や、修学旅行の学生や、観光客で賑わいをみせていた。島に到着した時間は、16:00頃で干潮の時間帯なのか、厳島神社には、まだ海水が満ちていない状態

で、あまり紹介されない光景であった。満潮が19:47 (厳島神社入り口に記載) と知り、旅館で夕食を済ませてから20:00頃に再び厳島神社に向かった。

大潮でないのか水嵩は思ったより低かったが、厳島神社での東儀秀樹のコン

サートの音がよく聞こえ、大鳥居のライトアップ、神社に打ち寄せる静かな波の音、平安時代を思わせる雅やかな箏篋 (ひちりき) の音がさらに臨場感を引き出し、世界文化遺産にふさわしい優雅な情景をかもし出していた。

この宮島には他にも、寺社や、史跡等があり、島内の自然の美しさ、すばらしさを脳裏に焼き付けることができた。ただ、島内をすべて散策できなかったことが、少し気残りではあったが、機会があれば、もう一度行ってみたい唯一の場所である。

会員通信