

日本における温泉生物学の進歩

学習院大学名誉教授 江 本 義 数

(昭和44年7月30日受理)

Progress of Thermal Biology in Japan

Yoshikadzu EMOTO

Professor Emeritus, Gakushuin University

日本は温泉国と自称しているが、村井秀夫氏によると源泉総数は17,126に達し、この内25—42°は2,235、42°以上は8,350とされて、その泉質も甚だ豊富である。さて日本の温泉に棲む生物の研究は、遠く明治7年(1874)に溯るので約1世紀前となる(第1表)、即ち独逸

第1表 日本における温泉生物に関する主要な業績

明 14	1881	Rein, J. J.	神奈川・箱根須沢	<i>Conferva</i>
		勝山忠雄	北海道・定山溪	<i>Cosmarium</i> , etc.
19	88	岡村金太郎	" "	<i>Chroococcus</i> etc.
23	90	堀 正太郎	島根・玉造, 岐阜・濁河	<i>Oscillatoria</i>
30	97	三好 学	群馬・伊香保, 栃木・日光	鉄, 硫黄細菌
35	1902	服部捨太郎	大分・別府	魚類
40	07	Warnstoff, C.	長崎・シマバリ	<i>Sphagnum sulphurea</i>
大 3	14	Balssa, H.	静岡・伊東, その他	<i>Cardina</i> sp.
4	15	松村松年	北海道・定山溪	オンセンバエ
10	21	黒田長礼	静岡・伊東浄ノ池	オオウナギ, その他
14	25	Molisch, H.	栃木・塩原, その他	細菌, 藍藻, 緑藻
		江本義数	栃木・日光湯元, その他	細菌, 藍藻, 緑藻, 珪藻
昭 2	27	服部広太郎	栃木・那須飯森	オンセンアブ
3—4	28—29	江本義数	栃木・日光湯元, その他	硫黄酸化細菌
8	33	浜 健夫	栃木・日光湯元	<i>Rhodospirillum</i>
11	36	岡田弥一郎		原生動物, 昆虫類, その他, (日本における温泉動物の研究)
17	42	伊東祐一	青森・酸ヶ湯, その他	
		上村三男		
12	37	神保忠男	栃木・日光湯元	紅色, 緑色硫黄細菌
12	37	Rahm, G.	長崎・雲仙	緩歩類
13	38	辰野誠次	青森・八甲田	<i>Hapalozia</i>
15	39	江本義数		細菌, 藍藻, 緑藻, 珪藻, その他 (日本産温泉植物の研究)
41	66	広瀬弘幸	神奈川・箱根, その他	
		米田勇一		
16	41	根本健一郎	青森・恐山	珪藻
23	48	福島 博	栃木・那須湯元	緑藻, 珪藻
24	49	福島 博	茨木・袋田	淡水水母

Marburg 大学の地理学教授 Dr. J. J. Rein 氏によって、箱根木賀付近須沢の岩壁に湧出する温泉 (59°) から緑藻 *Conferva* を採集、明治 14 年 (1881) に報告されたのに初まる。これによって日本における温泉生物学の発祥の地は前記箱根須沢であるといえる。

その後、植物は勝山忠雄、岡村金太郎、堀正太郎、三好学諸氏によって、北海道、島根、岐阜、栃木各県から、それぞれ接合藻、藍藻、細菌類が報ぜられ、動物は服部捨太郎氏が明治 35 年 (1902) に別府温泉で魚類を発見したのが初めである。明治 40 年 (1907) には C. Warnstoff 氏が「シマバリ」付近の硫黄泉で採集された蘚を *Sphagnum sulphurea* と命名、これは温泉産蘚類として初めての報告である。大正年代に入って同 3 年 (1914) H. Balssa 氏は静岡県伊東温泉、鹿児島県下の温泉からエビの種 *Cardina* を採集報告、翌 4 年には松村松年氏は北海道定山溪温泉からオンセンバエを、10 年 (1921) に黒田長礼氏は伊東温泉浄ノ池に棲む南方産のオオウナギその他を調査、天然記念物として指定、保存する価値あることを報告した。かくて東北帝大理学部生物学教室創設に際して招かれた Wien 大学の H. Molisch 教授は 14 年 (1925) 栃木県塩原、宮城県鳴子温泉、更に他の 25 温泉に棲息する生物を記述した。昭和年代に入ってからはこの方面の研究は盛んになり、11 年 (1936) から岡田弥一郎、伊東祐一、上村三男氏により動物、また 15 年 (1939) からは江本、広瀬弘幸、米田勇一氏によって植物の協同研究が行われるに至り、本学会も 14 年から発足して温泉生物の研究が軌道にのった観があり、今迄に温泉 500 個所 (源泉数は非常に多数) にのぼり、次第にその成果もあがって種数も増加して、現在では総数 927 種、117 変種、16 品種が知られるに至った (第 2 表)。

第 2 表 温 泉 生 物

植 物	種 数	変種数	品種数	動 物	種 数	変種数
細菌類	39	1	—	原生動物 { 虚足類	19	—
藍藻類	298	55	6	鞭毛虫類	11	—
鞭毛類	8	—	—	繊毛虫類	103	1
珪藻類	167	52	10	腔腸動物	1	—
接合藻類	23	3	—	扁形動物	3	—
緑藻類	53	2	—	輪形動物	8	—
車軸藻類	1	—	—	環形動物	10	—
褐藻類	1	—	—	軟体動物	18	—
紅藻類	4	1	—	節足動物 { 甲殻類	12	—
藻菌類	2	—	—	蜘蛛類	5	—
蘚類	7	1	—	緩歩類	2	—
苔類	2	1	—	昆虫類	105	—
羊齒類	1	—	—	脊動物 { 魚類	16	—
単子葉類	1	—	—	両棲類	7	—
合 計	607	116	16	合 計	320	1

なお旧日本版図内の温泉についても研究されて、江崎悌三 (大 11 年, 1922) 堀川安市 (大 11 年, 1902) 高橋良一 (大 13, 15 年, 1922, 26), 三輪勇四郎 (昭 10 年, 1935), 藤岡保夫 (昭 12 年, 1937) 諸氏が台湾北投、蘇澳、関仔嶺、烏来、草山、桜湯、礁溪、知本諸温泉から昆虫類 36 種以上を報告し、江本、広瀬弘幸氏 (昭 7 年, 1932) は朝鮮黄海道諸温泉の藻類 32 種を採集

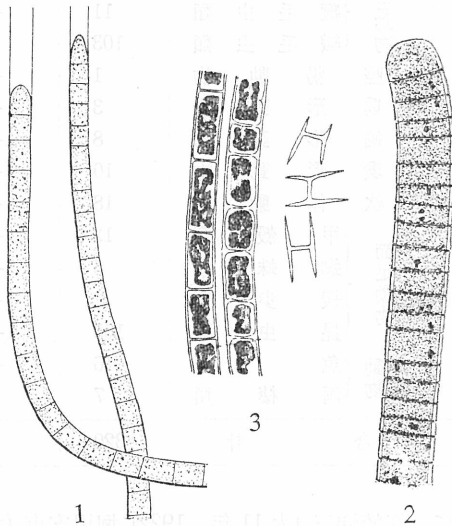
したことを付記する。

前述の温泉生物の内、植物の出現数は 739 (変品を含む) で、その内藍藻類が最も多く 359, 珪藻類が 229, そして他の類はずっと減じて緑藻類 (55), 細菌類 (40), 接合藻類 (26) となり、残りの類では更に激減する。また動物の総数は 321 (変種を含む) で、節足動物昆虫類, 原生動物纖毛虫類 (それぞれ 105, 103) が多く、その他の類は甚だ少数である。

次に泉温, pH 値及び泉質と生物に関して考察することにする。先づ最も多くの種が発育する泉温を見ると、植物動物共に 31—40°C である (第3表)。そして植物各類についていえば、

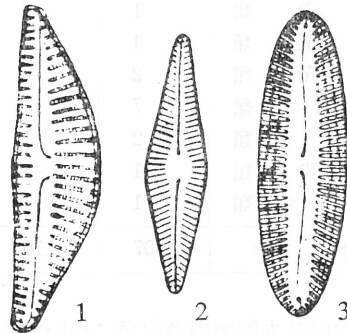
第3表 温泉生物の最も多く出現する泉温

温 泉 植 物			温 泉 動 物			
細菌類	21—50°	23	原生動物	虚足類	30—40°	18
藍藻類	31—40°	249		鞭毛虫類	31—40°	7
鞭毛類	31—50°	4	纖毛虫類	31—40°	92	
珪藻類	21—30°	115	腔腸動物	21—30°	1	
接合藻類	31—40°	17	扁形動物	21—30°	2	
緑藻類	31—40°	33	輪形動物	31—40°	5	
車軸藻類	31—40°	1	環形動物	31—40°	9	
褐藻類	10—25°	1	軟	体動物	41—50°	10
紅藻類	21—30°	3	節足動物	甲殼類	31—40°	7
藻菌類	21—30°	2		蜘蛛類	31—40°	4
蘚類	31—40°	6		緩歩類	31—40°	1
苔類	31—40°	2	昆虫類	31—40°	78	
羊齒類	31—40°	1	脊動物	魚類	31—40°	9
单子葉類	31—40°	1		両棲類	31—40°	6



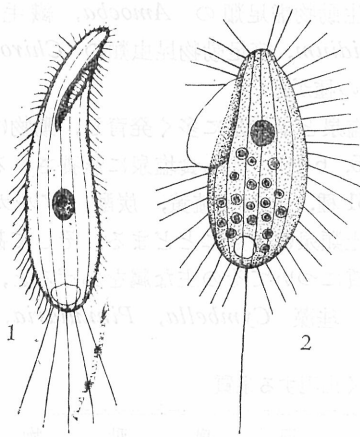
第1図

- 藍藻 1. *Phormidium corium*
 2. *Oscillatoria tenuis*
 緑藻 3. *Microspora tumidula*



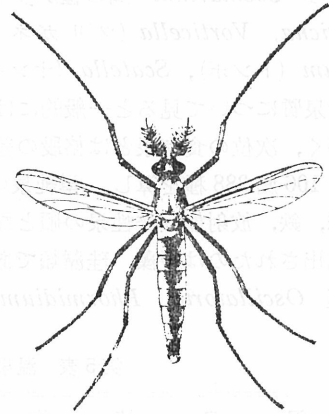
第2図

- 珪藻 1. *Cymbella turgida*
 2. *Pinnularia viridis*
 3. *Navicula lanceolata*



第3図

繊毛虫類 1. *Metopus hasei*
2. *Cyclidium glaucoma*



第4図

Chironomus sp.
ユスリカ

細菌類の *Thiobacillus*, *Chromatium*, 藍藻類の *Oscillatoria* (ユレモ), *Phormidium*, *Synechococcus*, 珪藻類の *Navicula*, *Pinnularia*, *Cymbella*, 接合藻類の *Cosmarium* (ミカヅキモ), 緑藻類 *Microspora* の種が多くを占めている。動物各類を見ると原生動物虚足類の *Amoeba*, 繊毛虫類の *Oxytricha*, *Cyclidium*, *Metopus*, 軟体動物の *Gyraurus* (ヒラマキガイ), *Lymnea* (モノアラガイ), 節足動物昆虫類の *Chironomus* (ユスリカ) 属の種が多い。

次に pH 値について、最も多く発見される植物動物は大体 pH 6.1—7.0 においてであり (第4表), 植物は藍藻類が最も多く 276, 珪藻類は 104, そして動物は原生動物繊毛虫類 (69), 節足動物昆虫類 (51) が多数を算する。そして各類について示せば, 細菌類の *Thiobacillus*, 藍藻類の *Oscillatoria*, *Phormidium*, 珪藻類の *Pinnularia*, *Navicula*, 緑藻類の *Microspora*,

第4表 温泉生物の最も多く出現する pH 値

泉 植 物			温 泉 動 物				
細菌類	6.1—7.0	16	原生動物	虎足類	7.1—8.0	16	
藍藻類	6.1—7.0	276		鞭毛虫類	6.1—7.0	8	
鞭毛虫類	7.1—8.0	5		繊毛虫類	7.1—8.0	69	
珪藻類	7.1—8.0	104		腔腸動物	8.1—9.0	1	
接合藻類	6.1—7.0	22		扁形動物	7.1—8.0	2	
緑藻類	6.1—7.0	32		輪形動物	6.1—7.0	4	
車軸藻類	5.1—6.0	1		環形動物	7.1—8.0	7	
褐藻類	—	—		軟体動物	6.1—7.0	13	
紅藻類	6.1—7.0	3		節足動物	甲殻類	6.1—7.0	18
藻菌類	—	—			蜘蛛類	5.1—6.0	2
蘚類	—	—	緩歩類		6.1—7.0	1	
苔類	—	—	脊動物	昆虫類	6.1—7.0	51	
羊齒類	6.1—7.0	1		魚類	6.1—7.0	9	
単子葉類	5.1—6.0	1		両棲類	7.1—8.0	5	

接合藻類の *Cosmarium* 属の種が多く、動物は原生動物虚足類の *Amoeba*, 絨毛虫類の *Opithotricha*, *Vorticella* (ツリガネムシ), *Cyclidium*, 節足動物昆虫類の *Chironomus*, *Orthetrum* (トンボ), *Scatella* (オンセンバエ) 属の種が多い。

次いで泉質について見ると一般的には、植物は食塩泉と単純泉に多く発育し、動物は単純泉に甚だ多く、次位の食塩泉とは格段の差がある (第5, 6表)。即ち食塩泉に涵養される植物は最も多く106属388種を算し、単純泉には107属351種、そして硫黄、炭酸、アルカリ、緑礬、苦味、鉄、放射能、酸性泉の順となり、明礬、土類泉は少数にとどまる。そして甚だ多くの種が見出されたのは藍藻、珪藻類であるが、各泉質についてその主な属をあげると、単純泉には藍藻 *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Lyngbya*, 珪藻 *Cymbella*, *Pinnularia*, 接合藻

第5表 温泉生物の最も多く出現する泉質

温 泉 植 物			温 泉 動 物			
細菌類	硫黄泉	37	原生動物	虚足類	食塩泉	13
藍藻類	食塩泉	199		鞭毛虫類	苦味泉, 硫黄泉	4
鞭毛類	食塩泉	3	腔腸動物	絨毛虫類	単純泉	56
珪藻類	食塩泉	121		扁形動物	単純泉, 炭酸泉	1
接合藻類	単純泉, 食塩泉	15	扁形動物	輪形動物	苦味泉, 硫黄泉	2
緑藻類	食塩泉	26		環形動物	単純泉, 硫黄泉	4
車軸藻類	単純泉, 食塩泉	1	軟体動物	甲殻類	単純泉	7
褐藻類	単純泉	1		蜘蛛類	単純泉, 食塩泉	12
紅藻類	食塩泉	2	節足動物	昆虫類	単純泉	4
藻菌類	炭酸泉	2		緩歩類	単純泉, 硫黄泉	2
蘚苔類	単純泉, 硫黄泉	3	脊動物	昆蟲類	単純泉, 緑礬泉	2
苔類	硫黄泉	2		魚類	単純泉	43
羊齒類	単純泉, 硫黄泉	1	脊椎動物	両棲類	単純泉	13
羊子葉類	硫黄泉	1			単純泉	5

第6表 泉質と生物数

泉 質	植 物		動 物	
	属	種	属	種
単純泉	107	351	87	164
炭酸泉	56	132	52	57
土類泉	9	13	20	25
アルカリ泉	47	117	36	40
食塩泉	106	388	98	125
苦味泉	42	94	58	69
鉄泉	37	85	31	35
明礬泉	12	23	10	14
緑礬泉	47	91	23	27
酸性泉	26	45	21	21
硫黄泉	93	231	88	106
放射能泉	33	67	—	—

Cosmarium 属が多く、細菌、緑藻類は比較的少数で他の類は甚だ少数、単子葉類は発見されない。炭酸泉には *Oscillatoria*, *Phormidium*, 珪藻 *Pinnularia*, *Cymbella* が多く、細菌、接合藻類は比較的少数、他は僅少かまたは発生を見ない。土類泉は研究例が少ないが、藍藻、接合藻、緑藻、蘚類は僅少で他は発見されない。アルカリ泉には *Oscillatoria*, *Phormidium* が多く生育し、細菌、珪藻、接合藻、緑藻類は比較的少ない。食塩泉には *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Lyngbya*, *Synechococcus*, 珪藻 *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia* があげられ、細菌、接合藻、緑藻、江藻は比較的少数、鉄泉には *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Synechococcus* が多く、細菌、珪藻、緑藻類は比較的少数。明礬泉には一般的に種類が少なく、僅少ながら細菌、藍藻類が生息。緑礬泉には *Oscillatoria*, *Phormidium* が見られ、明礬泉よりも多くの発生がある。酸性泉には *Oscillatoria*, *Phormidium* が少数ながら見られる程度である。硫黄泉には *Oscillatoria*, *Phormidium* が多く生育し、鉄、明礬、緑礬、酸性泉に比して種が多い。そして放射能泉には *Phormidium*, *Oscillatoria* が多く棲息し、珪藻、接合藻、緑藻は僅少である。

温泉動物について記すと、単純泉に生育するものが最も多く、87 属 164 種にのぼり、次いで食塩、硫黄、苦味、炭酸、アルカリ、鉄、緑礬、土類、酸性、明礬泉の順となり、何れの泉質においても絨毛虫類と昆虫類とが多く生育していることが知られる。然るに各泉質に发育する種数を見ると、一般に少数であることが認められるが、単純泉には原生動物虚足類 *Amoeba*, 絨毛虫類 *Vorticella*, 軟体動物 *Gyraulus*, 脊椎動物両棲類 *Rana*。食塩泉には *Amoeba*, 絨毛虫類 *Metopus*, 軟体動物 *Gyraulus*, 節足動物昆虫類 *Orthetrum*。鉄泉には *Vorticella*。酸性泉には *Amoeba*。硫黄泉には *Amoeba*, *Vorticella*。緑礬泉には昆虫類 *Chironomus*。そして炭酸及び土類泉には甚だ僅少の発生を見たに過ぎない。

これ等泉温、pH 値及び泉質について知り得ることは、植物では藍藻 *Oscillatoria*, *Phormidium* 属が絶対多数を占め、動物では *Amoeba* 属が多く棲息することである (第 7, 8 表)。

以上は専ら温泉生物の種について報じたが、次に生理、生態等に関して述べることにするが、分類学的方面と異なり業績は比較的少ない。

硫黄泉に発生する硫黄芝と硫黄細菌については三好学氏 (明 30 年 1897) の研究がある。日光湯元温泉において硫黄芝は水深の浅い所、そして泉流緩慢で温度は約 28—30°, 深きに過ぎると水面近くだけに発生する。また *Chromatium weissii* は毛細管法によって走化性のあること

第 7 表 泉温及び pH 値に多く出現する属

生 物	泉 温 : 31—40°	pH : 6.1—7.0
細菌類	<i>Thiobacillus</i> , <i>Chromatium</i> ,	<i>Thiobacillus</i>
藍藻類	<i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Synechococcus</i>	<i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i>
珪藻類	<i>Navicula</i> , <i>Pinnularia</i> , <i>Cymbella</i>	<i>Pinnularia</i> , <i>Navicula</i>
接合藻類	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium</i>
緑藻類	<i>Microspora</i>	<i>Microspora</i>
虚足類	<i>Amoeba</i>	<i>Amoeba</i>
絨毛虫類	<i>Oxytricha</i> , <i>Cyclidium</i> , <i>Metopus</i>	<i>Opithotricha</i> , <i>Vorticella</i> , <i>Cyclidium</i>
軟体動物	<i>Gyraulus</i> , <i>Lymnea</i>	—
昆虫類	<i>Chironomus</i>	<i>Chironomus</i>

第8表 各泉質に多く出現する属

単純泉	Oscillatoria, Phormidium, Lyngbya; Cymbella, Pinnularia; Cosmarium Amoeba; Vorticella; Gyraulus; Rana
炭酸泉	Oscillatoria, Phormidium; Pinnularia, Cymbella —
アルカリ泉	Oscillatoria, Phormidium —
食塩泉	Oscillatoria, Phormidium, Lyngbya, Synechococcus; Navicula, Nitzschia, Pinnularia Amoeba; Metopus; Gyraulus; Orthetrum
鉄泉	Oscillatoria, Phormidium, Synechococcus Vorticella
緑礬泉	Oscillatoria, Phormidium Chironomus
酸性泉	Oscillatoria, Phormidium Amoeba
硫黄泉	Oscillatoria, Phormidium Amoeba, Vorticella
放射能泉	Phormidium, Oscillatoria

を認め、うすい硫化水素、硝酸加里、酒石酸アンモニウム、酸性磷酸加里、磷酸アンモニウム、肉汁エキス液などによって強く誘引されるが、濃度が大きくなると然らず、また林檎酸等では強い逃化性を示す。なお後に硫黄芝を構成する細菌に3型あることが報ぜられている(江本昭16年1941)。

新に温泉が湧出した際に如何なる種が先づ発生するか、またその以後の実態を調べることは興味あると思われるが、御船政明、広瀬弘幸氏(昭38年1963)は三朝温泉で泉温49°、pH6.6の食塩泉をプラスチック樋に流下させ、植物生育の消長を継続観察して *Mastigocladus laminosus* 外7種、1変種を知り、1年を通して *Xenococcus Phormidium autumnale*, *Ph. treleasii* 及び *Mastigocladus laminosus* の生育を確認した。

温泉植物の成分についての報告は甚だ少ないが、梅本春次、御船政明氏(昭29年1954)が三朝温泉に生育する *Mastigocladus laminosus*, *Phormidium ambiguum*, *Oscillatoria cortiana* (藍藻) 及び *Rhizoclonium hieroglyphicum* (緑藻) の灰分をスペクトル分析により P, S, Cl, Si 等17元素の存在を確かめ、*Mastigocladus* 及び *Phormidium* には Ti, Ge, また前者には Si, 後者には多量の Fe, Mg を発見した。

なお硫黄酸化細菌については、その分布、生理についての報告がある(江本、昭3-4年1928-29)。

オンセンブについて岡田弥一郎、河西芳一氏(昭16年1941)は燕温泉において、卵の孵化、幼虫、蛹、成虫を観察、温泉中で蛹は發育、常に尾端にある呼吸蓋を水面に出して呼吸し、その羽化には4-5カ月を要するらしく、泉温約48.5°までは棲息し得るといふ。

また動物が温度によって大きさ、重量等に変化を起こすが、岡田弥一郎、上村三男、伊東祐一氏(昭12, 13年1937-38)は東山温泉ぬるま湯流出溝と松山市外の小川に棲むカワニナを比較、温泉産のものは殻長、殻幅は小さく、殻幅に比して殻長は大、殻幅に比して殻重が重

く、これ等の変化は泉温、成分等に帰因するであろうと結論し、原生動物の体の大きさについて上村三男氏(昭14年1939)は2, 3原生動物を以って体の小形になる原因として高温の影響、分裂速度、食物の多少等をあげ、温泉の化学的成分も1つの要因として働くものと想像した。

ついで温泉動物の棲息高温限界に関して上村三男氏(昭14年1939)は動物が高温に適応し得るのは、蛋白質の含水量が少ないほど凝固点が高く、また生物の熱に対する感受性の相違はlipoidの融解点の相違に基き、従って原形質の耐熱の相違はlipoidの性質によって調整、適応させていると考えたが、辻本満丸、小柳半二氏(昭13年1938)によると温泉産と水田産オニセンアブの蛹のlipoidについての研究結果は温泉産は水田産よりも4°融解点は高いことを証したが、lipoidの不飽和度の低いことを確めただけと述べている。また上村氏はミトコンドリアの有無について、その欠如によって高温に適応し得ることも考えて、今後の研究を示唆している。

更に淡水動物の温泉移行について岡田、上村氏(昭15年1940)、温泉動物の起原に関して岡田氏(昭16年1941)は別府由布院温泉とこれが流入する金鮮湖及び和歌山湯ノ峯川と、それ

第9表 研 究 業 績

年		植物	動物	計	年		植物	動物	計			
明	14	1881	1	—	1	昭	15	1940	10	3	13	
	17	84	1	—	1		16	41	10	4	14	
	19	86	1	—	1		17	42	20	4	23	
	21	88	1	—	1		18	43	5	—	5	
	23	90	1	—	1		19	44	3	1	4	
	29	96	3	—	3		22	47	1	—	1	
	30	97	3	—	3		23	48	3	—	3	
	35	1902	—	1	1		24	49	4	1	5	
	38	05	1	—	1		25	50	3	—	3	
	40	07	1	—	1		26	51	5	—	5	
	大	3	14	—	1		1	27	52	6	—	6
		4	15	—	1		1	28	53	1	—	1
		10	21	—	1		1	29	54	3	—	3
		14	25	2	1		3	30	55	2	—	2
昭	1	26	1	—	1	31	56	3	—	3		
	2	27	—	1	1	32	57	5	—	5		
	3	28	2	—	2	33	58	4	—	4		
	4	29	1	2	3	35	60	3	—	3		
	5	30	2	—	2	37	62	3	—	3		
	7	32	—	2	2	38	63	3	—	3		
	8	33	4	—	4	39	64	2	—	2		
	9	34	3	2	5	40	65	1	1	2		
	10	35	—	2	2	41	66	4	—	4		
	11	36	1	5	6	42	67	—	—	0		
12	37	5	10	15	43	68	1	—	1			
13	38	6	11	17	合 計		152	67	219			
14	39	7	13	20								

それ数カ所に棲息する動物の比較研究から、殊に前者（由布院）から得た結果から、温泉動物は温泉よりも低温度の水界から移行し来たり、高温の環境に適応して現在に至ったものとした。

さて地球上に最初に出現した生物（いわゆる始原生物）が如何なるものであったか、地球表面が未だ高温状態にあった時期に出現した生物は、当然耐熱性のものでなければならない、然るに細胞内の原形質は加熱されると凝固を起こして死滅する。Molisch 氏（昭1年1926）は熱泉中に生活する或種の細菌や藍藻を以て始原生物を論じ、中村浩氏（昭15年1940）は日光湯元温泉（50—70°）中に生育する数種の微生物（硫黄細菌、紅色硫黄細菌、綠色細菌、紅色細菌、藍藻等）について観察、次のように想像した。即ち最初は硫黄細菌のように硫黄の酸化によって化学合成する生物が現れ、これが細菌葉緑素を有して光合成をなし得る紅色細菌に進化、更に葉緑素を有する藍藻へと進んだと考えられ、一方ではこの紅色細菌から完全に有機栄養を行なう細菌となったというのである。

最後に温泉生物研究の歩みを顧みると（第9表）、昭和11年（1936）頃から次第に業績が増加して17年（1942）まで続き、その後は僅かながら発表があり、昨年迄に植物関係は152、動物関係は67、総計219篇を算するに至った。そして植物数は当初（1937）の6.8倍強を、動物数は同じく3倍強を知り得たのである（第10表）これは全く研究者各位の努力によるものとして深甚の敬意を表し、更に今後生理、生態方面において一層の進歩を期待してやまない。

第10表 温泉生物研究の歩み

植 物	1937	1947	1958	1968	動 物	1937	1944 (1968)	
細菌類	27 (1)	34 (1)	34 (1)	39 (1)	原生動物	虚足類	5	19
藍藻類	44 (2)	235 (39)	257 (52)	298 (55) 6		鞭毛虫類	2	11
鞭毛類	2	4	4	8	纖毛虫類	25	102 (1)	
珪藻類	6	46 (12)	98 (37)	167 (52) 10	腔腸動物	—	1	
接合藻類	4	41 (1)	48 (2)	53 (2)	扁形動物	2	3	
緑藻類	4 (1)	21 (3)	24 (3)	23 (3)	輪形動物	—	8	
車軸藻類	—	1	1	1	環形動物	3	10	
褐藻類	1	1	1	1	軟体動物	7	18	
紅藻類	—	2	2	4 (1)	節足動物	甲殼類	8	12
藻菌類	—	—	1	2		蜘蛛類	2	5
蘚類	—	3 (1)	7 (1)	7 (1)		緩歩類	1	2
苔類	—	—	2 (1)	2 (1)	昆蟲類	昆蟲類	55	105
羊齒類	—	1	1	1		脊椎動物	魚類	7
单子葉類	—	1	1	1	兩棲類		5	7
計	89 (4)	390 (58)	481 (97)	607 (116) 16	計	103	320 (1)	