

焼けイチョウの水銀蓄積に関する研究

Accumulation of mercury in carbonized Ginkgo tree trunk

大熊 明大*・佐竹 研一

Akihiro OKUMA* and Kenichi SATAKE

立正大学地球環境科学部

Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

摘 要

「焼けイチョウ」とは、自然災害や戦争によって半焼したイチョウのことをいう。東京都内には1923年の関東大地震、1945年の東京大空襲によって炭化した焼けイチョウが数多く分布している。本研究では、焼けイチョウの炭化木部を2010年から2013年にかけて採取し、沈着・蓄積した水銀量を明らかにした。

東京都内の8か所で採取した炭化木部中の総水銀沈着量は101~327 ng Hg cm⁻²であった。また、炭化前にイチョウに蓄積していた水銀の炭化による水銀揮発率を求めたところ、300℃ 1~2時間の炭化条件では100%となり、炭化木部に蓄積している水銀は1945年以降に大気から沈着したものと推定された。また、単位面積あたりの水銀飽和沈着量は800~1,000 ng Hg cm⁻²であり、焼けイチョウの炭化木部中の水銀はその約7.61%~32.7%であり飽和には達していなかった。さらに、比較のため山梨県身延山久遠寺にて1875年の大火により被災した焼けイチョウの炭化木部を採取し、水銀量を測定した結果、総水銀沈着量は60.9 ng Hg cm⁻²であり、東京都内の焼けイチョウと比較して約2倍の期間大気にばく露されていたにもかかわらず、東京都内の方が1.7~5.4倍高い値を示した。

キーワード：水銀、大気汚染、東京大空襲、焼けイチョウ

Key words : mercury, atmospheric pollution, Great Tokyo Air Raids, carbonized Ginkgo

1. はじめに

イチョウ (*Ginkgo biloba*) は耐火性が高く¹⁾、大気汚染に強いなど²⁾街路樹に適した性質をもち、北海道から九州に至るまで街路樹として植栽され、日本の街路樹の11.1%を占めている³⁾。また、神社や仏閣などでもイチョウを植栽している所も多く、樹齢が500年を超えるものも少なくない⁴⁾。このように日本各地に広く分布しているイチョウの中で、自然災害や戦争によって半焼したイチョウのことを「焼けイチョウ」と呼んでいる⁵⁾。東京都内には1923年に発生した関東大地震と1945年の東京大空襲による戦災を受けた焼けイチョウが39か所分布している⁶⁾。これらの焼けイチョウは、被災後も炭化した木部を残した状態で成長を続けている。

一方、現在の水銀による大気汚染は、産業発展にともない、自然発生源からの大気への放出量よりも人為発生源からの放出量の方が高い傾向があり、大気中水銀濃度が上昇していることが問題となっている⁷⁾。例えば、経済発展の著しい中国では火力発電施設など石炭燃焼にともなう水銀の排出⁸⁾、インド

ネシアでは金の採掘に水銀を使用している⁹⁾など、さまざまな汚染源があり、アジアでは1995年から2005年の間に大気中水銀濃度が増加していることが報告されている¹⁰⁾。また、大気に存在する水銀の95%を占めているとされるガス状水銀(Hg⁰)は、大気中での滞留時間が約1年間程度と見積もられており、アジア地域から排出された水銀が越境汚染を引き起こしている可能性も指摘されている^{11), 12)}。

一方、炭には大気や水に含まれる汚染物質を吸着する性質があり¹³⁾、そのため、常に大気に触れている焼けイチョウの炭化木部には、炭化後に、水銀(Hg⁰)等の大気由来の大気汚染物質が沈着していると考えられる。このため、火災によって生じた樹木の炭化木部による水銀蓄積に関する研究は、炭化木部と大気中水銀との関係を明らかにするうえでも重要であると考えられる。しかし、焼けイチョウの炭化木部に蓄積した水銀についての論文はこれまで発表されていない。また、世界各地で起きている森林火災によって被災した樹木の炭化木部における水銀蓄積に関する論文も検索されない。

そこで、本研究では、今後の炭化木部における水

受付：2014年7月1日、受理：2014年10月22日

* 〒360-0194 埼玉県熊谷市万吉1700, e-mail: aki_environmental@yahoo.co.jp

銀蓄積の先駆的研究として、まず水銀濃度が比較的高いと予想される東京都内と比較的濃度が低いと思われる山梨県の焼けイチョウの炭化木部中の水銀含量を測定し、その量を明らかにすることを第一の目的とした。しかし、もともと樹木には大気由来の水銀が蓄積しており^{14), 15)}、この水銀が火災の際に、樹皮や木部の燃焼・炭化によって大気中に揮発すると考えられるが、炭化の際の水銀揮発率が明らかではない。また、炭化木部は長期間大気に触れているため、大気中の水銀を蓄積するとしても、ある年に飽和に達し、大気中水銀の蓄積が止まっていることも予想される。そのため、第二の目的として、炭化による水銀揮発率とイチョウ炭化木部の水銀飽和沈着量を明らかにすることとして研究を進めた。

2. 研究方法

2.1 焼けイチョウ炭化木部の採取地点

焼けイチョウの炭化木部の採取地点(東京都内及び山梨県身延山久遠寺)を東京大空襲によって被災した地域とともに図1に示し、炭化年、調査本数、採取した部分の炭化木部の厚さ、採取年を表1に示す。

2.1.1 東京都内での採取地点

1945年の東京大空襲によって被災した焼けイチョウの炭化木部を6地点(St.1: 谷中霊園, St.4: 江島杉山神社, St.5: 赤坂氷川神社, St.6: 都立芝公園4号地, St.7: 善福寺, St.8: 磐井神社)、1923年の関東大地震と1945年の東京大空襲によって二度被災した焼けイチョウの炭化木部を2地点(St.2: 浅草寺, St.3: 湯島聖堂)で採取した。また、St.1, St.4~St.7

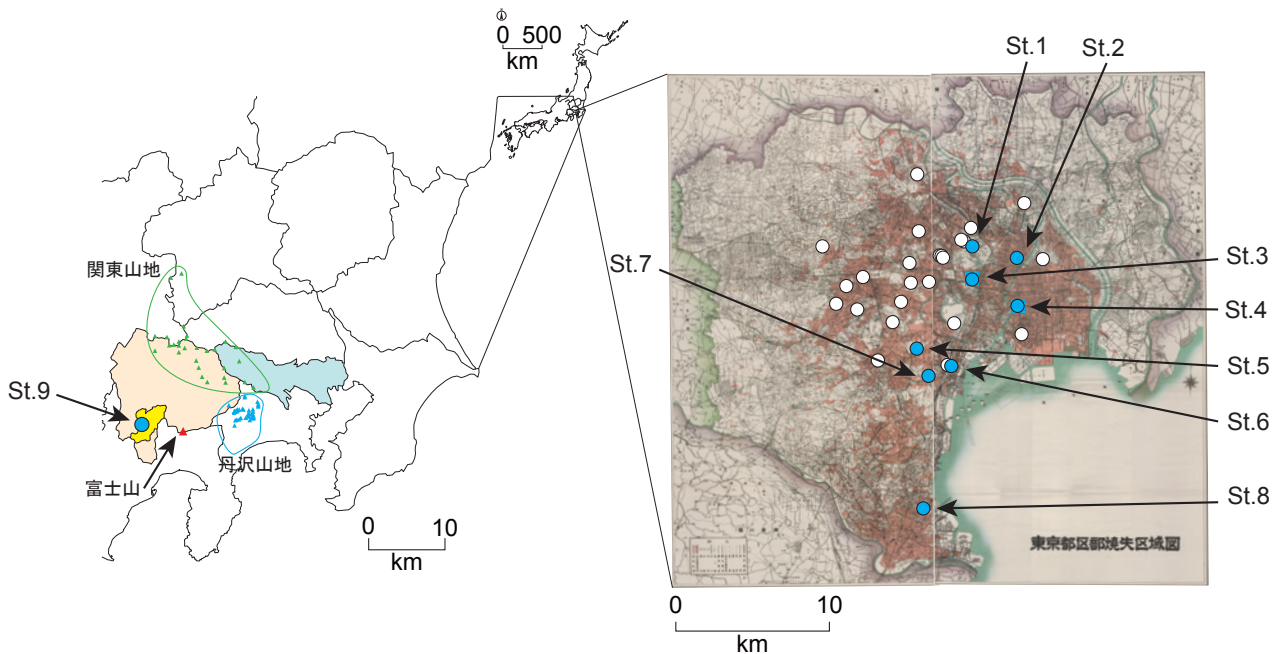


図1 東京大空襲焼失範囲(赤色部分)¹⁶⁾及び炭化木部採取地点。
 (○: 焼けイチョウ所在地点, ●: 水銀分析を行った焼けイチョウの採取地点)
 St.1: 谷中霊園, St.2: 浅草寺, St.3: 湯島聖堂, St.4: 江島杉山神社, St.5: 赤坂氷川神社,
 St.6: 都立芝公園4号地, St.7: 善福寺, St.8: 磐井神社, St.9: 身延山久遠寺

表1 焼けイチョウ炭化木部の採取地点、炭化年⁶⁾、採取した部分の炭化木部の厚さ及び採取年。

採取地点	炭化年	調査本数	炭化木部の厚さ(mm)	採取年
St.1 谷中霊園 東京都台東区	1945(東京大空襲)	1	4.06~4.96	2012
St.2 浅草寺 東京都台東区	1923(関東大地震) 1945(東京大空襲)	2(a, b)	a: 7.84~8.46 b: 1.73	2010
St.3 湯島聖堂 東京都文京区	1923(関東大地震) 1945(東京大空襲)	1	8.81~9.37	2010
St.4 江島杉山神社 東京都墨田区	1945(東京大空襲)	1	3.41~3.62	2011
St.5 赤坂氷川神社 東京都港区	1945(東京大空襲)	1	3.35~3.92	2010
St.6 都立芝公園4号地 東京都港区	1945(東京大空襲)	1	5.62~6.22	2011
St.7 善福寺 東京都港区	1945(東京大空襲)	1	4.72~5.12	2011
St.8 磐井神社 東京都大田区	1945(東京大空襲)	2(a, b)	a: 6.64~6.57 b: 3.34~4.29	2011
St.9 身延山久遠寺 山梨県身延町	1875(身延山大火)	1	7.62~7.72	2010

では1本の焼けイチョウ, St.2とSt.8では2本(a, b)の焼けイチョウの炭化木部を採取した。

2.1.2 山梨県身延山での採取地点

東京都と山梨県の県境には標高2,000 mを超える関東山地があり, 関東地方から山梨県身延町までには関東山地, 丹沢山地, 富士山と高海拔山岳地帯が存在しているため, 山梨県は首都圏からの大気の流れが遮られていると考えられる¹⁷⁾。また, 山梨県には大きな水銀発生源が存在せず, 東京都を含む大都



図2 採取した焼けイチョウの炭化木部。

St.1: 谷中霊園, St.2: 浅草寺, St.3: 湯島聖堂,
St.4: 江島杉山神社, St.5: 赤坂氷川神社,
St.6: 都立芝公園4号地, St.7: 善福寺, St.8: 磐井神社,
St.9: 身延山久遠寺

市圏とは大気の水銀汚染度に大きな差があると考えられ, 2001年から2011年までに測定された大気中水銀濃度は東京都内の方が高い傾向にある¹⁸⁾。そこで, 東京都内の焼けイチョウ炭化木部中の水銀沈着量と比較するため, 山梨県身延山久遠寺(St.9)にある1875年身延山大火によって被災した1本の焼けイチョウの炭化木部の採取を行った。

2.2 水銀量の測定

2.2.1 水銀分析装置

本研究では, 水銀の検出限界値が0.002 ng Hgである全自動水銀分析装置(MA-2000, 日本インスツルメンツ(株)社製)を用いて, 加熱気化-金アマルガム-冷蒸気原子吸光度法で測定した。

2.2.2 東京都内及び山梨県身延山で採取した焼けイチョウの炭化木部の水銀分析

炭化木部をハイパーカットソー0.1((有)ブラッツ社製)を用いて, 大気に触れている面から約1.5 mm毎に切り分け, デジタルノギスで沈着面積及び厚さを測定し, 重量を測定後, 水銀量を測定した。また, St.2b以外の各採取地点から採取した炭化木部試料について, これをさらに切り分けて2試料以上作成し, 測定を行った。

2.2.3 炭化木部に蓄積した水銀量の表示

炭化木部に蓄積した水銀量は単位重量あたりと単位面積あたりで求めた。

大気に直接接触している最外部から内部にかけて各深度毎に単位重量あたりの水銀量を求めた値を水銀含量とした。最外部から内部にかけて各深度毎の水銀量を求め, その総量を単位面積あたりで割った値を水銀沈着量とした。

2.3 炭化実験と炭素と水素の測定

イチョウの樹皮及び木部がどれくらいの温度で炭化するのか明らかにするため, まず樹皮と木部のパルク試料を70℃で2時間乾燥させ, 電気炉を用いて150℃, 200℃, 250℃, 300℃, 350℃, 400℃, 450℃の各温度でそれぞれ計4時間加熱し, その間15分毎に重量を2回測定した¹⁹⁾。また, 炭素含有率と水素含有率の変化を明らかにするために, イチョウの木部を70℃で2時間乾燥させ, 電気炉を用いて150℃, 200℃, 250℃, 300℃, 350℃の各温度でそれぞれ2時間加熱し, 有機元素分析装置(JM-10, (株)ジェイサイエンスラボ社製)を用いて, 各温度で加熱した試料の炭素と水素を測定した(表2)。測定に用いた試料数は3とした。

2.4 炭化による水銀揮発率の測定

イチョウの樹皮及び木部をカミソリ(フェザー安全剃刀(株)社製)で外樹皮, 内樹皮, 木部に切り分け, さらに, 加熱する試料と加熱しない試料に切り分けた。加熱する試料を電気炉を用いて150℃, 200℃, 250℃, 300℃で2時間加熱後, 水銀量を測定し, 加熱しない試料は室温で重量測定後, 水銀量を測定した。

水銀分析に用いた試料数は 150℃, 200℃, 250℃ は 3, 300℃ は 5 とした。次に, 未加熱用試料の重量は加熱用試料の加熱前と加熱後の重量変化率から炭化重量あたりで補正し, 水銀揮発率を求めた。

2.5 水銀飽和沈着量及び飽和含量の測定

電気炉を用いて 300℃ で 2 時間炭化させたイチョウの木部を試料とし, 沈着面が 1 面になるように他の面をパラフィルムで覆った後, 二股試験管(容積約 83 mL)の一方に入れ, もう一方に液体水銀を約 3 g 入れ, 25℃ に設定した人工気象器内で 0~20 日間, 炭化木部を水銀(Hg⁰)にばく露させた(図 3)。その後, 沈着面の面積をデジタルノギスを用いて測定し, さらに重量を測定後, 水銀量を測定した。

2.6 炭化木部に蓄積した水銀の洗脱実験

炭化木部に蓄積している水銀は, 降雨によって除去される可能性が考えられる。そのため, 降雨による除去の影響を調べる必要がある。そこで, 電気炉を用いて 300℃ で 2 時間炭化したイチョウ炭化木部を 2.5 に示した方法で 2 日間水銀にばく露させ, 洗浄用試料と未洗浄用試料に切り分けた。次に, テフロン製ボトルに洗浄用試料を入れ, 洗浄用試料 10 mg に対し洗液を 10 mL 加え, 振とう機(SR-2w, TAITEC (株)社製)を用いて振とう速度 240 min⁻¹ で 2 時間振とうした。このように処理した炭化木部を 70℃ で 2 時間乾燥し, 重量を測定後, 水銀量を測定した。未洗浄用試料は 70℃ で 2 時間乾燥し, 重量を測定後, 水銀量を測定した。

洗液は超純水製造装置(Integral3, Merck Millipore 社製)を用いて精製した純水を使用した。また, 日本

表 2 イチョウの木部を 70℃, 150℃, 200℃, 250℃, 300℃ で 2 時間加熱後の水素と炭素含有率及びモル比。

加熱温度 ℃	試料数	H C		モル比 H/C
		%		
70	3	6.12	48.8	1.50
150	3	6.49	49.5	1.56
200	3	6.33	49.6	1.52
250	3	5.29	51.4	1.23
300	3	2.40	58.3	0.49
350	3	1.87	55.9	0.40

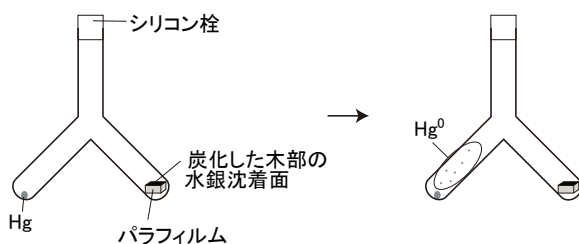


図 3 水銀飽和沈着量及び水銀含量測定実験。液体水銀からガス状の水銀(Hg⁰)が揮発し, パラフィルムで覆っていない炭化部分に沈着。

の降雨中の水銀濃度は約 10 ng Hg L⁻¹ と報告されている^{11), 20)}。そこで, 1,000 ng Hg L⁻¹ 水銀標準溶液(和光純薬工業(株)社製)を 10 ng Hg L⁻¹ に希釈した溶液も洗液として使用した。

3. 結果及び考察

3.1 炭化実験と炭素と水素の測定結果

イチョウの樹皮と木部のバルク試料の各加熱温度における加熱前重量と加熱後重量の比率を図 4, 水素と炭素の測定結果を表 2 に示す。

150℃, 200℃ で加熱した場合は 4 時間経過しても比率は 90% 以内にとどまった。250℃ では 4 時間加熱しても重量比率は徐々に減少し, 4 時間内の加熱時間では一定値に達することはなかった。300℃ では, 1~2 時間で一定値に達し, 約 40% となった。350℃ では木部は灰化が始まり, 約 20% であった。400℃ と 450℃ では約 10% にまで減少した。

イチョウの木部の炭素含有率は 70℃ では 48.8%, 150℃ では 49.5%, 200℃ では 49.6%, 250℃ では 51.4%, 300℃ では 58.3% と 70℃ から 300℃ では 58.3% と加熱をするとともに炭素含有率も高くなり, 300℃ で加熱した際の水素と炭素比は 0.49 であり, 黒く炭化した。350℃ で加熱した際の炭素含有率は 55.9% と減少し, 水素と炭素比も 0.40 と減少した。

生物試料の炭化条件は 300℃ の加熱 1~2 時間で炭化し¹⁹⁾, 木炭の水素と炭素比は約 0.5 になることが報告されている²¹⁾。本実験でもイチョウの木部の炭化に同様の結果が得られ, 樹木試料の炭化条件は 300℃ の加熱 1~2 時間で炭化し, それ以上の温度では灰化することが確認された。

3.2 炭化による水銀揮発率

150℃, 200℃, 250℃, 300℃ の各温度で加熱した際のイチョウの外樹皮, 内樹皮, 木部に含まれている水銀の揮発率を表 3 に示す。

イチョウの樹皮及び木部を加熱すると, 水銀の揮発率は 150℃ では約 50%, 200℃ では約 60%, 250℃ では約 96%, 300℃ では約 100% となった。炭化実験

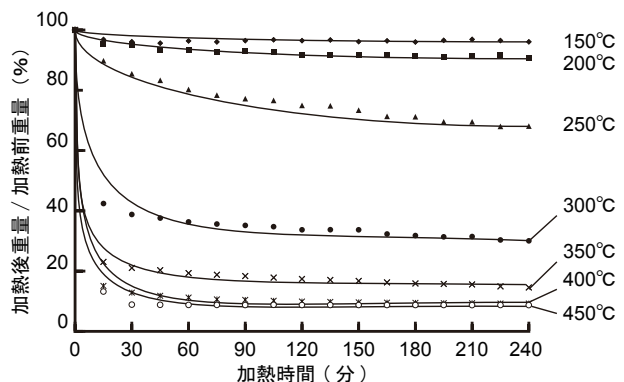


図 4 イチョウの樹皮及び木部を 150℃, 200℃, 250℃, 300℃, 350℃, 400℃, 450℃ で加熱した際の加熱前重量と加熱後の重量比(%)。

表3 150℃, 200℃, 250℃, 300℃で加熱した際の水銀揮発率.

加熱温度 ℃	組織	未炭化試料 炭化試料		水銀揮発率 %	平均
		ng Hg g ⁻¹			
150	外樹皮	17.1	10.8	56.0	45.8
		15.1	12.0	31.9	
		17.5	6.63	49.5	
	内樹皮	32.6	16.2	50.2	
		41.9	16.1	61.7	
		29.2	14.5	50.5	
	木部	2.68	2.12	20.9	
		4.53	1.47	67.4	
		1.89	0.70	63.0	
200	外樹皮	23.6	10.8	54.1	56.8
		24.7	11.7	51.5	
		22.7	6.63	70.8	
	内樹皮	24.7	10.1	59.3	
		31.2	11.3	63.7	
		24.3	8.47	65.1	
	木部	3.07	1.10	65.3	
		2.19	0.69	68.7	
		2.14	0.78	63.5	
250	外樹皮	28.3	1.99	93.0	95.9
		14.9	0.49	96.7	
		88.2	1.88	97.9	
	内樹皮	21.3	0.49	99.9	
		49.2	1.12	97.7	
		63.7	1.12	99.2	
	木部	3.07	0.12	96.0	
		3.00	0.11	96.2	
		2.19	0.07	97.0	
300	外樹皮	34.6	-	100	100
		33.7	-	100	
		31.9	-	100	
		25.9	-	100	
		22.0	-	100	
	内樹皮	68.4	-	100	
		72.0	-	100	
		70.4	-	100	
		70.8	-	100	
木部	68.1	-	100		
	11.4	-	100		
	4.03	-	100		
	4.34	-	100		
	5.44	-	100		
6.85	-	100			

- : 検出限界値以下

の結果から、300℃で炭化し、それ以上の温度では灰化することが明らかであり、また、火災の際に樹木の燃焼温度は400℃以上にもなることが報告されていることから²²⁾、火災後に炭化して残った木部を含め、炭化時に樹木に蓄積していた水銀は100%揮発することが明らかとなった。したがって、炭化木部に含まれている水銀は、炭化後に大気から沈着してきた水銀であると考えられる。

3.3 水銀飽和沈着量及び飽和含量

約3gの金属水銀を入れた二股試験管内では水銀が揮発し、水銀蒸気が二股試験管内の空气中で飽和に達しており、この条件下で水銀が炭化木部に沈着し、炭化木部に含まれる水銀も最終的に飽和に達すると考えられる。

炭化木部中の水銀沈着量と水銀含量の時系列変化を図5に示す。

水銀沈着量は6日目までは比例的に上昇し、10日目に904 ng Hg cm⁻²、水銀含量は142 μg Hg g⁻¹で12日目に1,060 ng Hg cm⁻²、水銀含量は147 μg Hg g⁻¹と、10日目辺りから緩やかな弧を描く結果となった。したがって、炭化木部の水銀飽和沈着量は800~1,000 ng Hg cm⁻²と推定された。

3.4 炭化木部中水銀の洗脱実験

イチヨウの炭化木部中水銀の洗脱実験結果を表4に示す。

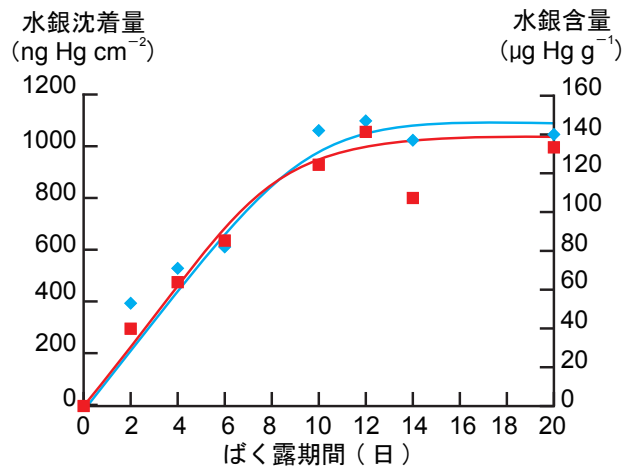


図5 水銀飽和沈着量及び水銀含量.
(■: 水銀沈着量, ◆: 水銀含量)

表4 洗液として純水及び水銀標準溶液(10 ng Hg L⁻¹)を用いた水銀洗脱実験結果.

	純水		水銀標準溶液(10 ng Hg L ⁻¹)	
	未洗浄用炭化木部	洗浄用炭化木部	未洗浄用炭化木部	洗浄用炭化木部
	水銀含量(μg Hg g ⁻¹)			
1	58.4	46.5	55.9	59.4
2	52.3	45.4	59.8	65.0
3	52.3	48.1	49.6	54.0
4	43.9	42.7	55.0	56.3
5	44.0	42.7	45.7	47.3

超純水を洗液とした場合の洗浄用試料と未洗浄用試料の水銀含量を比較すると、微量の沈着した水銀が洗脱される結果となった。洗液を 10 ng Hg L^{-1} の溶液とした場合の洗浄用試料と未洗浄用試料の水銀含量を比較すると、洗浄用試料中の水銀含量の方が高い傾向になる結果となった。つまり、水銀が含まれていない降雨によって洗い流される水銀の量は極めて微量であるが、降雨中には微量の水銀が含まれているため、降雨の影響にともない、炭化木部に蓄積している水銀はわずかに洗脱されるものの、降雨中の微量の水銀も若干吸着される。したがって、常時大気にばく露されている炭化木部に蓄積している水銀は、炭化後から現在までに大気や降雨から乾性沈着、湿性沈着した水銀であることが示唆された。

3.5 東京都内と山梨県身延山の焼けイチョウの炭化木部中の水銀含量及び水銀沈着量

大気に直接接触している炭化木部の部分を深度 0 mm とし、最外部から内部までの深度別の水銀含量を **図 6** に示す。

炭化木部に蓄積している水銀は大気に直接接触している最外部で最も量が多く、深さとともにその量は減少した。大気に接している最外部に属する炭化木部の水銀含量は $0.91 \sim 9.01 \text{ } \mu\text{g Hg g}^{-1}$ と最も高く、最内部に属する炭化木部は $0.13 \sim 2.11 \text{ } \mu\text{g Hg g}^{-1}$ と指数関数的に減少する結果となった。炭化木部の表面に

は無数の孔があり、水銀が奥まで拡散し、沈着したと考えられ、最外部から内部まで炭化木部に蓄積している水銀は、炭化後に大気から蓄積してきた水銀であると考えられる。

炭化木部中の水銀含量を測定する場合、注意すべきこととしては、水銀含量が表面から内部にかけて次第に減少するため、炭化木部を採取する際に表面からの深さ(厚さ)によって含量が異なることである。さらに、炭化木部の厚さは採取地点毎に異なり(**表 1**)、また、炭化木部を層毎に切り分けて採取することはできるが、各層の厚さをそろえることは困難である点である。このため、炭化木部を用いて、水銀汚染をより正確に比較する場合、最外部から内部までの層別に分けた各層の水銀量の総和を比較すること、すなわち総水銀沈着量で比較することが望ましいと考えられる。

そこで、大気に直接接触している最外部から内部までの総水銀沈着量を **図 7** に示す。

東京都内(St.1, St.2, St.3, St.4, St.5, St.6, St.7, St.8)の水銀沈着量は $101 \sim 327 \text{ ng Hg cm}^{-2}$ となった。St.2 と St.3 では、1923 年に発生した関東大地震と 1945 年に起きた東京大空襲の二度被災しているが、1923 年に炭化した木部は 1945 年に燃焼し、その際に蓄積した水銀は、木部が 300°C 以上の温度で燃焼するため、揮発し、残っていないと考えられる。し

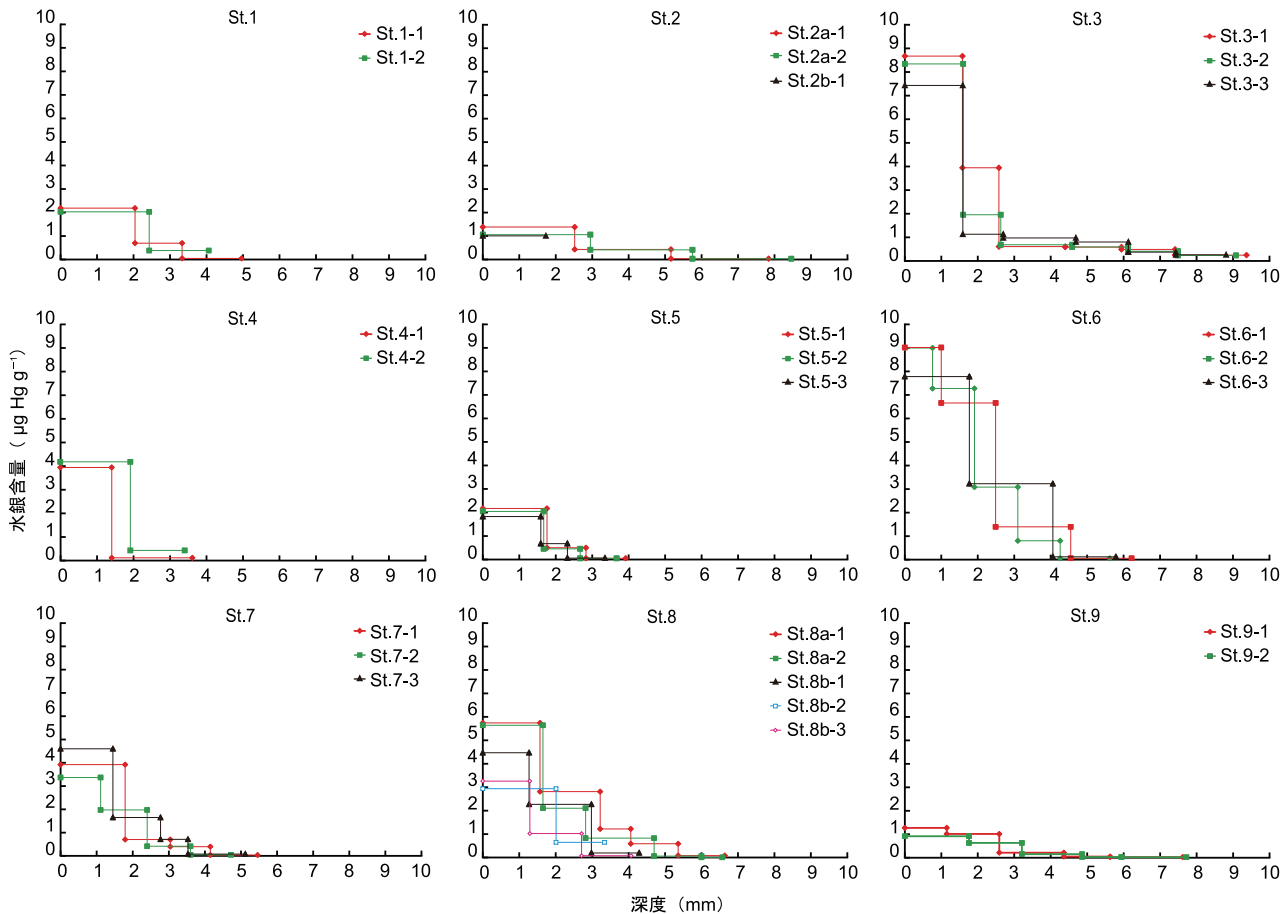


図 6 焼けイチョウ炭化木部中の水銀含量。

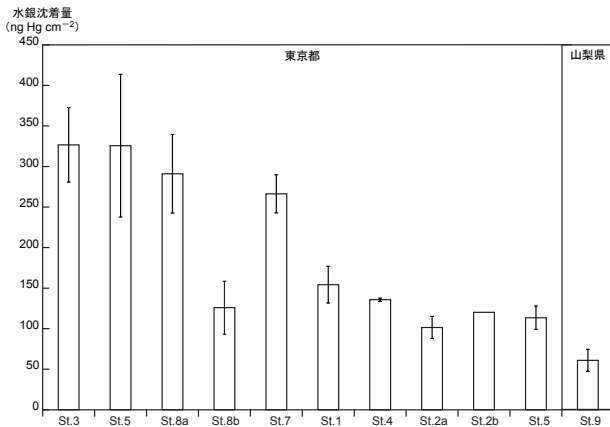


図7 焼けイチョウ炭化木部中の総水銀沈着量。

たがって、St.2とSt.3の焼けイチョウの炭化木部中の水銀は1945年以降に蓄積した水銀であると考えられる。

身延山久遠寺(St.9)で採取した焼けイチョウの炭化木部中の水銀沈着量は $60.9 \text{ ng Hg cm}^{-2}$ となった。また、この東京都内と身延山で採取した焼けイチョウの炭化木部は水銀飽和沈着量を測定した結果に対し約7.61~32.7%であり、本研究で採取した炭化木部は飽和に達してはいないと推定される。

東京都と山梨県には水銀鉱床が近くになく²³⁾、また、山梨県内には大きな汚染源となる火力発電施設²⁴⁾、²⁵⁾もなく、1854年以降富士山の噴火も観測されていないため²⁶⁾、自然起源の影響も小さいと考えられる。一方で、東京都内には水銀発生源となる火力発電施設やゴミ焼却施設が数多く存在している。現在の東京湾に点在する人工島のうち7か所に最終処分場が在り、1994年まで生ゴミや不燃ごみ等が中間処理せずそのまま処分され、ゴミ山になっていた過去があり²⁷⁾、廃棄物中に含まれる水銀が汚染源となった可能性もある。また、大学の理系キャンパスや医療施設がある地点の大気中水銀濃度は高いことが報告されている²⁸⁾。そのため、東京都内は山梨県よりも水銀沈着量が高く、特に、医療施設と理系キャンパスが近くに在るSt.3、東京湾沿いのSt.6、St.7、St.8が高い結果になったと考えられる。

大気中水銀の調査には植物の葉²⁹⁾や樹木外樹皮¹⁴⁾、コケ植物¹⁵⁾などのバイオモニターが広く用いられている。しかし、一般的にバイオモニターを用いて環境汚染を解明する場合、生物種を同種にする必要がある。炭の吸着能は針葉樹と広葉樹の中では有意な差がないことが知られており³⁰⁾、炭を用いる場合には生物種を揃える必要がないと考えられる。また、森林火災は世界各地で発生しており、アジアだけで2002年から2010年の9年間で約38万件発生していることが報告されている³¹⁾。世界各地で発生している森林火災によって炭化した樹木には炭化後、大気中の水銀が沈着・蓄積しているはずである。

本研究では、イチョウの炭化木部を対象に研究を行

った。その結果は、炭化木部が大気中水銀汚染のモニタリングに役立つ可能性があることを示唆していた。炭化した木部をもつ樹木はイチョウだけではなく、日本でもケヤキ(*Zelkova serrata*)やクスノキ(*Cinnamomum camphora*)、スギ(*Cryptomeria Japonica*)なども知られ⁶⁾、世界各地には森林火災によって数多くの樹木が炭化し焼け跡に残されている。本研究の結果は、火災による被害を受けた他の樹種についても炭化木部による大気中水銀のモニタリングが可能であることを示唆していると考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、唐沢孝一氏には震災樹と戦災樹の所在情報を提供していただきました。炭化木部の採取には赤坂氷川神社、磐井神社、江島杉山神社、芝公園管理事務所、浅草寺、善福寺、東京都東部緑地管理事務所、身延山久遠寺、谷中霊園管理事務所、湯島聖堂の方々のご協力をいただきました。深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 吉武 孝(2003)樹木の耐火性・防火性. 樹木医学研究, 7, 21-22.
- 2) Kim, Y. S., J. K. Lee and G. C. Chung (1997) Tolerance and Susceptibility of *Ginkgo* to Air Pollution. In : Hori, T., R. W. Ridge, W. Tulecke, P. Del Tredici, J. Trémouillaux-Guiller and H. Tobe, eds., *Ginkgo Biloba - A Global Treasure: From Biology to Medicine*, 233-242, Springer-Verlag, Tokyo.
- 3) Handa, M., Y. Iizuka and N. Fujiwara (1997) *Ginkgo* Landscapes. In : Hori, T., R. W. Ridge, W. Tulecke, P. Del Tredici, J. Trémouillaux-Guiller and H. Tobe, eds., *Ginkgo Biloba - A Global Treasure: From Biology to Medicine*, 259-283, Springer-Verlag, Tokyo.
- 4) Hori, S. and T. Hori (1997) A Cultural History of *Ginkgo biloba* in Japan and the Generic Name *Ginkgo*. In : Hori, T., R. W. Ridge, W. Tulecke, P. Del Tredici, J. Trémouillaux-Guiller and H. Tobe, eds., *Ginkgo Biloba - A Global Treasure: From Biology to Medicine*, 385-411, Springer-Verlag, Tokyo.
- 5) 唐沢孝一(2000)語り継ぐ焼けイチョウ. 北斗出版.
- 6) 唐沢孝一(2001)よみがえった黒こげのイチョウ. 大日本図書.
- 7) Lamborg, C. H., W. F. Fitzgerald, J. O'Donnell and T. Torgersen (2002) A non-steady-state compartmental model of global-scale mercury biogeochemistry with interhemispheric atmospheric gradients. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 66, 1105-1118.
- 8) Wang, D., L. He, S. Wei and X. Feng (2006) Estimation of mercury emission from different sources to

- atmosphere in Chongqing, China. *Science of the Total Environment*, 366, 722-728.
- 9) 吉田 稔・赤木洋勝(2004)発展途上国における金採掘の環境汚染と環境保全. 環境科学会誌, 17, 181-189.
 - 10) Arctic Monitoring and Assessment Programme and United Nations Environment Programme (2013) *Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2013*, Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway and United Nations Environment Programme Chemicals Branch, Geneva, Switzerland.
<<http://www.amap.no/documents/download/1265>>
 - 11) 福崎紀夫(2008)我が国における大気中総水銀濃度のモニタリング. 地球環境, 13, 181-191.
 - 12) Li, P., X. B. Feng, G. L. Qiu, L. H. Shang and Z. G. Li (2009) Mercury pollution in Asia : A review of the contaminated site. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 591-601.
 - 13) Downie, A., A. Crosky and P. Munroe (2009) Physical properties of biochar. In : J. Lehmann, S. Joseph, eds., *Biochar for Environmental Management : Science and technology*, 13-32, Earthscan.
 - 14) Sanjo, H., K. Satake, Y. Wang and S. Masunaga (2004) Evaluation of outer bark and inner bark of *Ginkgo biloba* Linn. as indicators for mercury pollution. 7th *International Conference on Mercury as a Global Pollutant*.
 - 15) 佐竹研一・木村悟志(2008)環境汚染のタイムカプセルによる水銀汚染史の解明. 地球環境, 13, 253-264.
 - 16) 東京都(2005)東京都戦災誌. 東京都(編), 明元社.
 - 17) 町田佑輔(2013)奥秩父山地を源流とする河川水の硝酸イオン濃度に関する研究. 平成 25 年度立正大学大学院地球環境科学研究科環境システム学専攻修士論文.
 - 18) 独立行政法人国立環境研究所, 環境展望台ホームページ, 環境 GIS 有害大気汚染物質調査結果マップ.
<http://tenbou.nies.go.jp/gis/monitor/?map_mode=monitoring_map&field=4>
 - 19) Satake, K. and T. Uehiro (1985) Carbonisation technique for pre-treatment of biological materials in X-ray fluorescence spectrometry. *Analyst*, 110, 1165-1168.
 - 20) 菱田尚子・永淵 修・田辺雅博(2014)滋賀県北部における一降雨イベント内での水銀濃度変動. 大気環境学会誌, 49, 78-85.
 - 21) Preston, C. M. and M. W. I. Schmidt (2006) Black (pyrogenic) carbon : a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. *Biogeoscience*, 3, 397-420.
 - 22) 岩河信文(1985)樹木の発火限界温度について. 造園雑誌, 48, 91-96.
 - 23) 喜田村正次・近藤雅臣・滝澤行雄・藤井正美・藤木素士(1976)水銀. 講談社.
 - 24) 貴田晶子・高橋史武(2008)日本と諸外国の水銀の大気排出インベントリー. 地球環境, 13, 167-180.
 - 25) 守富 寛(2008)石炭燃焼プロセスにおける水銀の挙動と抑制技術. 地球環境, 13, 193-201.
 - 26) 内閣府, 富士山火山防災協議会(2004)富士山ハザードマップ検討委員会報告書.
<<http://www.bousai.go.jp/kazan/fujisan-kyougikai/report/index.html>>
 - 27) 東京都環境局(2014)東京都廃棄物埋立処分場パンフレット.
 - 28) 中川良三(2008)環境土壌中の残留水銀の形態および動態. 地球環境, 13, 245-252.
 - 29) Rea, A. W., S. E. Lindberg, T. Scherbatskoy and G. J. Keeler (2002) Mercury Accumulation in Foliage over Time in Two Northern Mixed-Hardwood Forests. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133, 49-67.
 - 30) 小林 真(2011)木炭・竹炭を用いた土壌中からの放射性セシウムの除去の可能性. 大気環境学会誌, 46, 217-223.
 - 31) Vadrevu, K. P. and C. O. Justice (2011) Vegetation fires in the Asian Region : Satellite Observational Needs and Priorities. *Global Environmental Research*, 15, 65-76.