

FEMA) が現地の自治体の管轄を行う。州対策本部の設置の後、連邦政府(国)の現地災害事務所(Area Field Office: AFO)が設置される。連邦政府への支援依頼を受けて、地方、州の対応に加えて軍、国家安全保障省及び関係省庁が対応する。これらの順を追った対応は国家対応計画(National Response Plan)や国家災害医療制度(National Disaster Medical System)により規定されている[7,9,10]。大規模な放射線物質、化学物質等による地域汚染時は、海兵隊・化学生物事象対応部隊(Cheical Biological Incident Response Force: CBIRF)および陸軍・除染部隊が除染確認の後、患者空輸が考慮される[11,12]。東日本大震災発生以後、米国よりCBIRF、空軍放射線評価チーム(Air Force Radiation Assessment Team: AFRAT)、陸軍第9地域医療検査隊(9th-Area Medical Laboratory: AML)が派遣されたことが報道されている。

CBIRFは「汚染環境における人員の救出、医療行為を行うこと。」を目的としており、AFRATは「詳細な放射線計測を行うこと。」を、AMLは「放射線、化学剤、生物剤等の検出、計測、安全確認を行うこと。」とされており、レベル4の移動式実験室を有している。AFRATとAMLは被災地となった特殊環境における公衆衛生学的安全性の評価を行う。わが国においては、初動担当部署以外の準備指針はほとんど確立されていないが、米国においては、放射線、化学事故における病院の準備指針を米国労働安全衛生局(Occupational Safety and Health Administration: OSHA)が提示しており、この中に医療機関における防護服の準備などの記述も認められる[11]。

大規模災害時の広域患者空輸については米国空軍が担っており、重症患者搬送チーム(Critical Care Air Transport Team: CCATT)における集中治療の標準化、機材、薬剤の標準化が進められている[12]。また、化学テロ災害発生時の応急処置薬等の備蓄を推進する制度(Chempack Program)も進められている[13]。

米国の大規模災害対応において特記すべきは、緊急時におけるマンパワーの増強策であると考えている。具体的には、軍病院と公立病院間での医師の兼務や退官医師の再雇用、ボランティアの活用などが積極的に進められている。また、退役した医療従事者を全国的に管理し、緊急時に活用する医療予備部隊(Medical Reserve Corps: MRC)という制度も整備されており、大規模災害初期から生じる大きな医療需要に対応することを目的としている[14]。その他、わが国のEMISと同様に、医療機関における空ベッド数の情報共有、緊急事態において主要病院における後方ベッドを確保する制度が取り決められている。

危機管理の先進国である米国とわが国の体制を比較した中で、災害派遣医療チーム、広域搬送、後方ベッド確保という基本的な部分については共通した構造となっている。しかしながら、災害時医療に必要なロジスティクス支援体制および危機管理に関するマネジメント体制については、今般の震災においても課題となっているが、課題解決の手段として検討の余地があるものと考えられた。

V. 今後のテロリズム研究の在り方

今般の震災を踏まえてテロリズム研究の在り方について検討を行ったが、国の研究推進の方向性として、災害発生時におけるリスクコミュニケーション、迅速かつ確実な救助・救命救急及び被害拡大防止、及び避難措置の指示が打ち出されており、この方針に沿った研究の推進が妥当と考えられる。しかしながら、今般の震災における研究成果の反映という視点から考慮した場合、制度、技術、運用の3つの領域の専門家による政策シミュレーションが不可欠である。また、本稿において日米における大規模災害への対応に関する制度の違いについて紹介したが、少なくとも日米において基本的な大規模災害への対応は類似している。しかしながら、わが国においては、必要な人員、資材を動員できる体制に欠けること、これまでも諸外国の危機管理に関する制度についても検証されてきたにも関わらず、その成果を制度に反映できていない点についても対応が求められる。

参考文献

- [1] 総合科学技術会議 安全に資する科学技術推進プロジェクトチーム。「安全に資する科学技術推進戦略」平成18年6月14日。
- [2] 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 安全・安心科学技術委員会。第27回「安全・安心科学技術に関する重要課題について(論点案)」平成23年6月17日。
- [3] 日本学術会議機械工学委員会 ロボット学分科会。「ロボット学の将来—新しい日本の発展に向けた革新と知の統合—」平成23年9月21日。
- [4] Darpa kicks off maximum mobility and manipulation (M3) program
http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2011/2011/03/17_DARPA_Kicks_Off_Maximum_Mobility_and_Manipulation_M3.aspx 5. (accessed 2011-12-01)
- [5] Group INTRA: presentation > history and missions
<http://www.groupe-intra.com/pages2/presentation/historique3.htm>(accessed 2011-12-01)
- [6] Kondo H, Koido Y, Morino K, Homma M, Otomo Y, Yamamoto Y, Henmi H, Establishing disaster medical assistance teams in Japan. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2010; 24(6): 556-64.
- [7] Maiello ML, Groves KL. Resources for nuclear and radiation disaster response. *Nuclear News, American Nuclear Society*. 2006 September; 29-34.
<http://hps.org/hsc/documents/Sep06NNResources.pdf> (accessed 2011-04-01)
- [8] US Army Center for Health Promotion and Preventive

- Medicine, Guide for Deployed Preventive Medicine. Personnel on health risk management, technical guide. 2001. p.248.
<http://www.nmcphc.med.navy.mil/downloads/prevmed/malaria/usahrm.pdf> (accessed 2011-04-01)
- [9] Pell K Jr. Area Medical Laboratory (AML) capabilities and applications. Society of Armed Forces Medical Laboratory Scientists, 2009 Annual Meeting presentations.
http://www.safmls.org/2009/2009_annual_meeting_presentations.html (accessed 2011-04-01)
- [10] 9th area medical laboratory
<http://usaphcapps.amedd.army.mil/9AML/default.aspx> (accessed 2011-04-01)
- [11] Occupational Safety and Health Administration. OSHA best practices for hospital - based first receivers of victims from mass casualty incidents involving the release of hazardous substances. 2005. http://www.osha.gov/dts/osta/bestpractices/firstreceivers_hospital.pdf (accessed 2011-04-01)
- [12] Critical Care Air Transport Team (CCATT), Wilford Hall Medical Center.
http://www.sammc.amedd.army.mil/patient/departments/nursing/sammc_south/ccatt/ (accessed 2011-04-01)
- [13] Nolin K, Murphy C, Ahern JW, McBride K, Corriveau M, Morgan J. Chempack program: role of the health-system pharmacist. *Am J Health Syst Pharm.* 2006; 63(22):2188.
- [14] Office of the Civilian Volunteer Medical Reserve Corps, Office of the Surgeon General, U.S. Department of Health and Human Services.
<http://www.medicalreservecorps.gov/HomePage> (accessed 2011-04-01)

総 説

米国の化学，放射線災害における医療危機管理体制に関する調査報告

藤田真敬*，齋藤大蔵**，徳野慎一***，石原雅之****，立花正一*，金谷泰宏*****

防医大誌 (2011) 36 (4) : 219 - 227

要旨：米国同時多発テロ（平成13年）以降，災害・テロリズムに対する関心が国際的に高まっている。米国では国家安全保障省（DHS），連邦緊急事態管理庁（FEMA）など先進的な危機管理体制が構築され，先進諸国の注目を浴びている。これら米国における核・化学兵器による災害時の機関連携，患者空輸，血液製剤の供給等に関する取組みについて調査した。州の警察，消防組織の初動対応から，災害規模に応じて州対策本部，連邦政府（国）による現地災害事務所が設置される。州兵は化学剤等の検知を担い，災害派遣医療チーム（DMAT）が救急医療を行う。州の対応に伴い，FEMAが現地の自治体，官公庁を統括する。連邦政府と共に軍，各省庁が対応する。病院の対応指針については，米国労働安全衛生局（OSHA）が提示している。空軍は広域患者空輸を担い重症患者空輸チーム（CCATT）による集中治療，機器，薬剤の標準化が行われている。軍を含む公立病院と民間基幹病院等における医師の兼務や退官医師の再雇用，ボランティアの配置等による人員確保が積極的に行われている。核爆発に伴う電磁衝撃波（EMP）はあらゆる電子機器を麻痺させるため，その対策を考慮すべきである。

索引用語： 災害 / テロリズム / 放射線 / 化学剤 / 患者空輸 / 電磁衝撃波

緒 言

米国同時多発テロ（平成13年）以降，災害・テロリズムに対する関心が国際的に高まっている。米国では国家安全保障省（Department of Homeland Security: DHS），連邦緊急事態管理庁（Federal Emergency Management Agency:

FEMA）の創設など先進的な危機管理体制が構築されている。政府関係機関連携，患者空輸，血液製剤の供給等に関する取組みについて文献，書籍による概要調査および平成22年12月，米国テキサス州サンアントニオにおけるテキサス大学サンアントニオ校ヘルスサイエンスセン

*防衛医科大学校防衛医学研究センター異常環境衛生研究部門
Division of Environmental Medicine, National Defense Medical College Research Institute, National Defense Medical College, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan.

電話 04-2995-1626, FAX 04-2995-1612,
E-mail fujitama@ndmc.ac.jp または bxb01424@nifty.com

**防衛医科大学校防衛医学研究センター外傷研究部門
Division of Basic Traumatology, National Defense Medical College Research Institute, National Defense Medical College, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan.

***防衛医科大学校 防衛医学講座
Department of Disaster and Military Medicine, National Defense Medical College, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan.

****防衛医科大学校防衛医学研究センター医療工学研究部門
Division of Biomedical Engineering, National Defense Medical College Research Institute, National Defense Medical College, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan.

*****国立保健医療科学院健康危機管理研究部
Department of Health Crisis Management, National Institute of Public Health, Wako, Saitama 351-0197, Japan.

平成23年5月23日受付

平成23年7月6日受理

ター (University of Texas Health Science Center at San Antonio: UTHSCSA)¹⁾ 外科部門, 救急部門, 米軍空軍ウィルフォードホールメディカルセンター (Wilford Hall Medical Center: WHMC)²⁾, ブルックス市立基地³⁾ 内米軍空軍航空宇宙医学学校 (United States Air Force School of Aerospace Medicine: USAFSAM)⁴⁾ の実地調査を行った。同地は, 大学医学部, 陸軍, 空軍の大規模施設が連携した医療を行っており, 戦時災害時の患者空輸の世界的ネットワークおよび大災害における重症熱傷, 外傷の治療拠点である。

連邦政府, 州, 地方との連携

大規模災害の発生における消防, 警察による初動は地方(市)により行われる。地方(市)においては, 緊急事態管理者 (Emergency Manager), 緊急指揮所 (Emergency Operation Center: EOC) が早期の指揮管理を担う⁵⁾。地方(市)による地方対策本部, 州への支援依頼後, 州においては州緊急事態管理庁 (State Emergency Management Agency) が指揮管理を引き継ぎ近隣の州への支援依頼は緊急管理支援協定 (Emergency Management Assistance Compact: EMAC), 全米緊急管理者協会 (National Association of Emergency Managers) により取り決めがなされている⁵⁾。州兵の化学剤検知部隊 (Civil Support Team)⁶⁾ が化学剤検知対応にあたり災害派遣医療チーム (Disaster Medical Assistance Team: DMAT) は野外医療に対応する。連邦政府の支援開始や多州の支援開始に至っては FEMA が現地の各種自治体, 官公庁の管轄を行う。州対策本部が設置され, 連邦政府 (国) への支援依頼後の現地災害事務所の設置が行われる。連邦政府への支援依頼後は地方, 州の対応に加えて軍, 国家安全保障省等, 各省庁が対応し, 現地事務局 (Area Field Office: AFO) が設置される。これらの順を追った対応は国家対応計画 (National Response Plan) や国家災害医療制度 (National Disaster Medical System) により規定されている^{5, 7, 8)}。

大規模な放射線被曝, 化学剤などによる地域汚染時は海兵隊・化学生物事態対応部隊 (Chemical Biological Incident Response Force: CBIRF)⁹⁾ や陸軍の検知部隊等が検知・除染確

認の後, 患者空輸が考慮される。平成23年3月11日に起きた東日本大震災発生以後, 米国から CBIRF, 空軍放射線評価チーム (Air Force Radiation Assessment Team: AFRAT)¹⁰⁾, 陸軍第9地域医療検査隊 (9th-Area Medical Laboratory: AML)¹¹⁻¹³⁾ が派遣されたことが報道されている。Fig.1 に今回我が国に派遣された米軍の特殊部隊を示す。CBIRF は汚染環境における人員の救出, 医療行為を行うことが可能である。AFRAT は詳細な放射線計測が可能であり, AML は放射線, 化学剤, 生物剤等の検出, 計測, 安全確認を行うレベル4の移動式実験室である。AFRAT と AML は被災地となった特殊環境における公衆衛生的安全性の評価を行う。

我が国においては, 初動担当部署以外の準備指針はほとんど確立されていないと思われるが, 米国においては, 放射線, 化学事故における病院の準備指針を米国労働安全衛生局 (Occupational Safety and Health Administration: OSHA) が提示し, 病院における防護服の準備などの記載が見られる (Fig.2)¹⁴⁾。

地方 (市や郡) や州における初動や準備体制に関するガイドラインは米国疾病対策予防センター (Centers for Disease Control and Prevention: CDC) や FEMA から公表されている¹⁵⁻¹⁷⁾。大

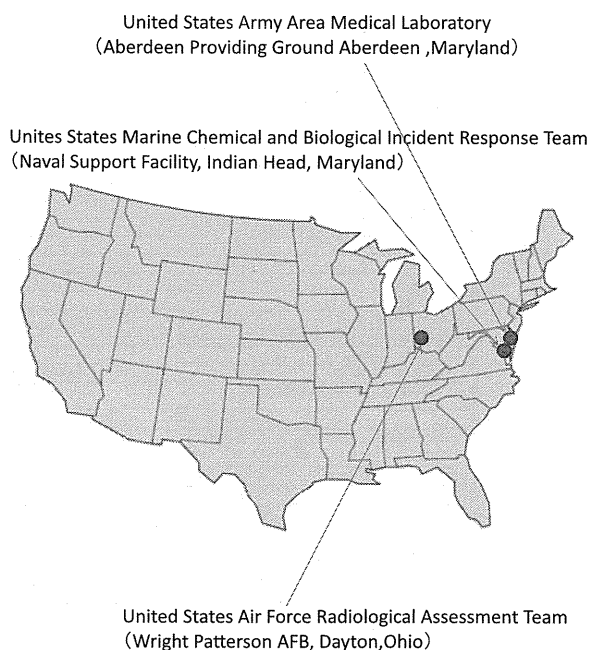


Fig. 1. Home of the United States Special Team Deployed for the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant.

規模災害時における広域患者空輸については米
 国空軍が担っており、重症患者空輸チーム
 (Critical Care Air Transport Team: CCATT)¹⁸⁾
 における集中治療の標準化、機器、薬剤の標準

化が行われている (Fig.3)。我が国の感染症法
 において1類感染症とされているエボラ出血熱
 などの感染症患者の空輸システムも保有してい
 る (Fig.4)¹⁹⁾。我が国においては、航空機の電
 子機器と医療機器との電磁干渉の問題が発生す
 るため、ほとんど行われていない補助人工心臓
 装着患者の空輸例も見られる²⁰⁾。これらの制度
 はDMATにおける患者空輸システムや防衛省
 航空自衛隊における機動衛生隊の制度に一部継
 承されている。また国家規模で国民の相互輸血
 を可能にする「歩く血液銀行制度 (walking
 blood bank)²¹⁾」、化学剤災害時の応急処置薬等
 の備蓄 (chempack program) も進められてい
 る²²⁾ 米国の施設見学を行って、特記すべきは
 マンパワーの増強策である。軍病院や公立病院
 の医師の兼務や退官医師の再雇用、ボランティ
 アの配置などが積極的に行われている。退役し
 た医療従事者を全国的に管理し緊急時に活用す
 る医療予備軍 (Medical Reserve Corps)²³⁾ とい
 う制度が機能し、大災害初期から生じる大きな
 医療需要に対応する。病院における空ベッド数
 の情報共有、緊急事態において主要病院におけ
 る後方ベッドを確保する制度が取り決められて
 いる。

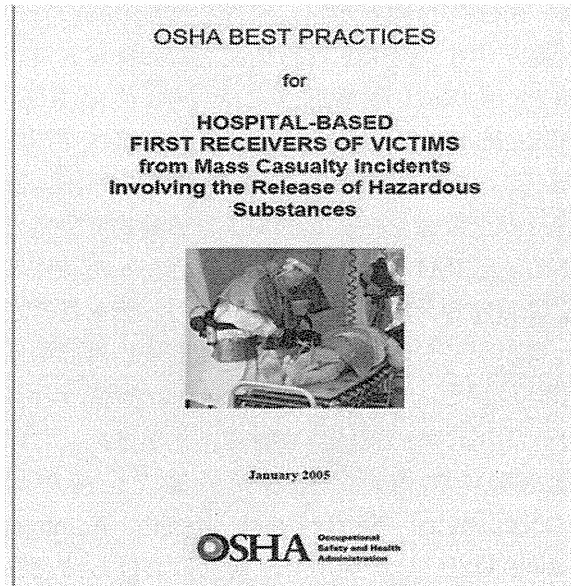


Fig. 2. Guidelines for Hospital Readiness against Chemical or Nuclear Disaster in Hospitals. (Occupational Safety and Health Administration) http://www.osha.gov/dts/osta/bestpractices/firstreceivers_hospital.pdf

WHMC-BAMC ADULT CRITICAL CARE REFERENCE SHEET 2006

ICU QA CHECKLIST (as applicable): Hand-Washing-Infection Control-Universal Precautions? DVT prophylaxis/US screening? GI ulcer prophylaxis? VT ₆ 6 ml/kg PBW + Pplat ₃₀ [ARDS]? Daily breathing trials [FIO ₂ 0.5, PEEP ₃ ? Xigris™ if sepsis+APACHE>25? Monitor platelets on heparin [HIT]? Glucose 80-110? Nutrition? EPO? Spine-cleared? †HOB 30-45 ? Skin care? Lines-tubes tips+duration? Antibiotic duration? Paralysis/sedation breaks? PT/OT consult? Restraint orders? Advance directive? Transfer planning [intermed care, rehab-SNF]? Social services? Family updated daily?						
IV ANESTHETICS	SINGLE AGENT ANESTHETIC			SEDATION		
	Induction	Maintenance	Loading dose	Maintenance		
		mcg/kg/min	mcg/kg	mcg/kg/min		
Thiopental (Pentothal)	3-6 mg/kg (≤ 1 mg/kg elderly, ↓BP)		useful if †ICP; caution ↓BP	2000-4000		
Propofol (Diprivan)	1.5-2.5 mg/kg	100-300	5-10 mg over 10 secs	start 5, 1.5 Q 5 min to max 100 (↓BP, †TG, †Kcal, †Zn)		
Ketamine (Ketalar)	1-3 mg/kg		useful if hypovolemia or asthma; caution if †BP, HR, AMI, †ICP			
Dexmedetomidine (Precedex)	(avoid CHF or > 24 hrs)		1 mcg/kg ABW over 10 min	0.2-0.7 mcg/kg/h		
Etomidate (Amidate)	0.2-0.4 mg/kg		useful if †BP; muscle movements blunted by Fentanyl 50-100 mcg, ↓adrenal?			
Morphine	1-3 mg/kg		50-200	30-150		
Fentanyl	30-100 mcg/kg	0.1-0.3	1-5	0.01-0.03		
SEDATIVES						
Midazolam (Versed)	50-200 mcg/kg	0.25-1.5	20-100	0.25-1.0		
Lorazepam (Ativan) [for seizures: 0.1 mg/kg @ 2 mg/min]			1-2 mg IV/IM Q 1-4 h			
Diazepam (Valium)			2-30 mg IV/IM Q 4-6 h			
Haloperidol (Haldol)	acute delirium: 1-5 mg IV; double dose Q 20 min till calm; give total dose required BID IV or PO [monitor: QT, V tach, NMS]					
NEUROMUSCULAR BLOCKERS						
	Intubating dose	Typical load	Maintenance		Metabolism	
Succinylcholine (Anectine)	1-1.5 mg/kg	100 mg/70 kg	NR		pseudocholinesterase	
Avoid: †K, hemiplegia, Guillain-Barre, crush (bradycardia with repeat dosing)						
Rocuronium (Zemuron)	0.45-0.6 mg/kg	40 mg/70 kg	10-15 mcg/kg/min		liver	
Vecuronium (Norcuron)	0.08-0.1 mg/kg	7 mg/70 kg	(avoid long term)		liver	
Cisatracurium (Nimbex)	0.15-0.2 mg/kg	10 mg/70 kg	(preferred if long term)		Hoffman elimination	
Rapacurium	1.5 mg/kg	100mg/70 kg (inject over 1-5 sec; onset 60 sec, duration 15 min)			infusion not rec.	
AUTONOMIC/CARDIOVASCULAR DRUGS						
	IV loading dose	IV Infusion (mcg/kg/min)	Dilution (in 250 ml)	Final Conc.	Duration (IV)	Notes
Phenylephrine	50-100 mcg	0.15-0.7	20 mg	80 mcg/ml	5-20 min	useful if †HR
Norepinephrine (Levophed)	NR	0.05-0.5	8 mg	32 mcg/ml	2-10 min (phenolamine for extravasation)	
Epinephrine	0.3-0.5 mg	0.01-0.3	30 mg	120 mcg/ml	5-10 min	

Fig. 3. Critical Care Manual Standardized for Worldwide Aeromedical Evacuation. (United States Air Force Wilford Hall Medical Center) <http://surgery.uthscsa.edu/saccs/downloads/adult-mil.pdf>

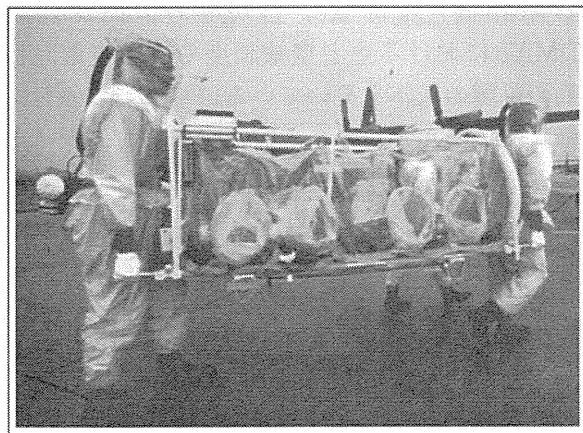


Fig.4 Special Isolator for Aeromedical Evacuation.
(Vickers Aircraft Transport Isolator)
<http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol5no2/christG.htm>

核爆発においては電磁衝撃波 (electromagnetic pulse: EMP) により電子機器の断線が生じる可能性がある²⁴⁻²⁶⁾。この現象により通信機器などの機器が全て麻痺する事態が想定され、医療機関や病院の範囲に留まらない大規模な施設への対応が必要となる。

その他に、放射線事故、大災害時の国家機関としての対応部署に DHS²⁷⁾、保健社会福祉省 (Dep. of Health and Human Service: DHHS)²⁸⁾、FEMA²⁹⁾ などが役割を担っている。州においては州衛生部 (State Dep. of Health) も役割を担っている。

放射線災害、大災害時の患者空輸制度

UTHSCSA¹⁾ 外科部門、救急部門の見学を行った。病院にヘリコプターを保有していることから、比較的遠距離の患者の空輸収容が容易である。病院の収容能力を超える場合には近隣の施設への転送する必要が生じるが、米国では、毎日重症熱傷等の集中治療が必要な患者の収容可能ベッド数の集計を行っているため、どの病院に収容余裕があるか、病院間で情報共有がなされている。熱傷部門については、米国軍の展開する戦地の患者も含めて、米国内の収容能力を超えて患者が発生したことは無いという³⁰⁾。救急外来では事務担当、トリアージ担当医師及び看護師、病歴治療内容の記録担当看護師、点滴確保や応急処置担当看護師、治療総括指揮担当医師が各々に役割分担を担うため、医師に業

務が集中することなく治療が進んでいく。大災害と大量傷者発生に十分耐える救急外来機能を持っている。CT検査、各種検査室は救急外来に隣接している。受診の半数以上が銃創とナイフ創による外傷ということもあり、非常に迅速な診断に基づく治療方針の決定がなされる設備配置となっている。大量の傷病者発生時に必要となる血液製剤は血液銀行が対応し、現在まで血液が不足する事態を経験したことが無いという。また過去に経験した規模以上の大災害を想定して、地域住民全員がお互いに自分の血液を供給できる「歩く血液銀行: walking blood bank」制度²¹⁾ が考案されている。

世界規模の患者空輸体制を保有する米国空軍

米国空軍²⁾ は世界規模の患者空輸体制¹⁸⁾ を保有し世界の戦地から傷病者を空輸する。応急処置と安定化により戦地、遠隔地から患者空輸を行い、確実な治療が可能な地域まで護送するシステムが確立されている^{31, 32)}。イリノイ州ベルビルにあるスコット空軍基地³⁸⁾、米国空輸司令部 (United States Transportation Command: USTRANSCOM)³⁹⁾ の患者空輸統制センター (Global Patient Movement Requirements Center: GPMRC) が必要な医療従事者、患者情報や搬送先の管理を一元的に行う⁴⁰⁻⁴³⁾。国家規模の災害時、患者空輸の指揮所となる。空輸の主導は空軍が持つが、司令部は統合軍の指揮下にある。疾病の種類、重傷度により同伴する医療従事者の数と職種、専門領域を決めてあり³³⁾、長時間の搬送に耐えるモニター類、想定しうる搬送中の急変の事態に対応する最小限の医療資源を確保している³⁴⁾。応急処置のマニュアル³⁵⁾、使用機器、使用医薬品の標準化が図られている³⁶⁾ ため、医師による治療範囲の偏りは生じにくく、緊急時の対応に関する教育も標準化されている。大規模な患者発生時には全ての民間旅客機を動員する制度も保証されている。戦場からの世界規模の患者空輸においては搬送先の病院のレベルの定義についても統一された基準が決められている (Fig.5)³⁷⁾。我々の訪問したサンアントニオのWHMCでは15のCCATTが常駐しGPMRCの要請に応じて患者空輸を行う¹⁸⁾。

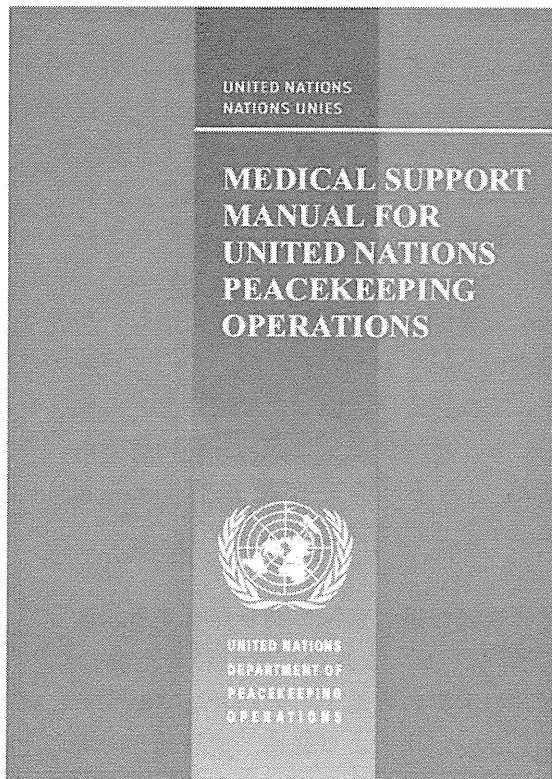


Fig. 5. Medical Support Manual for United Nations Peacekeeping Operation defines the Level for Satellite Hospital.
[http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/LGEL-5SYHVMV/\\$file/dpko-medical-1999.pdf?openelement](http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/LGEL-5SYHVMV/$file/dpko-medical-1999.pdf?openelement)

放射線事故，化学事故，バイオテロに際しては，除染部隊が安全確保の処置を行った後に必要に応じて患者空輸チームが出動する。先の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故に際して米国から派遣されたCBIRFは放射線などの汚染地域において応急医療活動を行う。

広域患者空輸体制の要員教育

我が国における航空機やヘリによる患者空輸の要員教育は，日本航空医療学会がドクターヘリの医療要員に対して，航空自衛隊が医官や機動衛生隊要員に対して行っている。米軍における患者空輸の教育は，USAFSAM⁴⁾が担っている。初級から上級に至る各種航空宇宙医学関連事項や患者空輸医学を教育する教育機関であり，年間の教育実績は7000名超の米国最大の患者空輸教育の拠点である。教育対象学生は米国の医療従事者をはじめ，世界各国の軍の医療従事者である。我が国においては航空自衛隊か

ら昭和63年以降数十名が学び，我が国のDMATにおける患者空輸制度や航空自衛隊機動衛生隊の基本を築いている。平成23年6月以降，USAFSAMはオハイオ州デイトン，ライトパターソン空軍基地⁴⁴⁾に移転する。

サンアントニオにおける放射線事故対策と医療対策

米国救急医学会のホームページ等^{45, 46)}によれば，サンアントニオにおいて保健社会福祉省(United States Department of Health and Human Services)⁴⁷⁾が2004年「ダーティーボム(通常の爆薬で放射性物質をまき散らす爆弾)」対応訓練を行っている。汚染検知，個人装備による医療従事者の汚染防止などの訓練を行っているが，現状では準備は不十分とされている⁴⁸⁾。状況に応じた被害予測，血液需要予測などシミュレーションは少ないながら散見される^{49, 50)}。これらの報告は最近数年に限られている。

考 察

1. 危機管理に関わる組織とその連携

米国では大規模な災害・テロリズム発生に際し，国家安全保障省や連邦緊急事態管理庁が中心になり，州や軍を含む協力体制で組織的に対応する。我が国も今回の東日本大震災に際しては，阪神大震災の教訓を踏まえて，比較的速やかに国や県レベルで自衛隊，警察，消防，医療等を連携した対策本部が設置され対応に当たっているが，その連携に関しては必ずしも成熟していない。緊急時に各機能・組織を効率的に束ねる新しい機関やシナリオの準備が必要である。我が国の災害対策基本法は地方行政機関の初動と継続的な機能を前提とするが，東日本大震災においては対応を担うべき地方行政機関が壊滅的な被害を受け，本来の対応に支障を来している。これら地方行政機関の機能の可否を迅速に判断し，地方行政機関の障害時においては中央機関が主体的に対応する初期の体制構築について議論の必要がある。

2. 危機対応における速やかな増員体制

米国では危機に際して，特に医療従事者が速やかに増員できるシステムがあることが確認できた。一方，我が国においては厚生労働省や県

のDMAT制度が確立しており、今回の大震災でも全国からDMATが被災地に駆け付けたが、現地で必要とされた医師や看護師のニーズに災害規模が想定を上回ったため、速やかに対応できたとは言い難い。緊急時に、必要とされる人員が組織的に増強・供給できる体制を工夫する必要がある。急性期の救急医療支援を行うDMATに加えて、震災規模や避難生活の長期化を想定した各診療科専門医チーム、薬剤師チーム、医療事務チーム、メンタルヘルスチーム、感染予防や公衆衛生対策チーム、ご遺体の識別処置チームなどの準備が必要である。

3. 患者の空輸体制

米国には空軍を中心に世界規模の患者空輸体制があり、必要なら民間の航空機も利用できるような契約が平時からなされている。一方、今回の大震災では自衛隊のヘリや一部の輸送機を用いて入院患者等の空輸が行われたが、大部分は救急車を用いての長時間の移送によるものであった。患者空輸には、空港の整備、連絡・通信体制の整備、現場・空港・病院間の地上輸送支援、要員の確保など、複雑な支援体制が必要となるが、やはり長距離航空搬送は迅速で患者負担も少なく、効果的な輸送手段である。患者の空輸において治療の継続のため必要な機器は重症患者ほど多く必要となる。その場合に搭載医療機器と航空機の安全な飛行に必要な電子機器との電磁干渉が問題となる。米国空軍においては患者空輸を個々に実現するため、搭載が許可されていない医療機器についても、電磁干渉の程度により例外的かつ一時的に許可するウェーバー制度を持っている^{40, 41)}。今回の大震災でなぜ患者搬送に航空機があまり用いられなかったかを検討し、将来の災害に備える必要があると思われる。米国の軍隊においては患者空輸のみに利用される航空機が割りふられ、患者空輸の判断と調整は患者空輸司令部が担い、指揮所として常時機能している。要員も患者空輸に専従するチームが出動し、医療従事者の通信体制も専用のもので装備されている。大量の傷病者への対応、被災した医療機関からの患者空輸については今後の課題である。

4. 患者空輸要員の教育

前述のように大規模災害に際して患者の搬送

には航空機は大変有効な手段と考えるが、その制度の整備には多くの課題がある。その一つは要員の教育であろう。現在航空機やヘリを用いた患者空輸の要員教育は、日本航空医療学会がドクターヘリの医療要員に対して、航空自衛隊が医官や機動衛生隊要員に対して行っている程度である。今回の震災のような大規模災害に備えるならば、防衛省、厚生労働省、消防庁などが一緒になり、米軍のCCATTのような要員の教育・養成体制を検討すべきである。患者搬送時の治療手順の標準化については我が国の平時医療の効率化や予算削減につながる可能性があり普及が期待される。

5. 放射線被曝者や重症感染症患者の移送対策

この分野は我が国ではほとんど手が付けられていない課題である。今回の震災において福島第一原子力発電所事故による放射性物質漏えいで100mSvを超える被曝作業員は102名であることが判明したが、重症の被曝者が大量に発生した場合には、専門医療機関である放射線医学総合研究所への患者移送だけでは受け入れが困難になるであろう。化学剤による大災害や重症感染症についても同様な事象が予測される。このような課題に対しても我が国は準備を進めるべきであろう。核爆発時に生じうる電磁衝撃波は医療機器に関わらず、全てのライフラインや通信インフラの機能停止を起こしうる。核兵器を保有しない我が国においては研究や議論が希有な分野である。国家安全保障の観点からも新たな専門対処チームの立ち上げを検討すべき分野と思われる。医療機器における対策について更なる調査研究が今後必要である。米国の緊急事態への対応基盤は十分な予算と人的資源の投入と最大活用に支えられたものであるが、これらの体制を我が国に導入することは、財源の制約を伴うこと、既存組織の改変を必要とすることから大きな困難を伴うことが予測される。

総 括

米国の化学・放射線災害、大規模災害における政府各機関の連携、患者空輸、血液製剤の供給に関する先進的な制度を調査した。米国の緊急事態対処に向けた組織は、多額の予算と人的資源によって支えられているが、これらの組織

を我が国に導入するにあたっては、さらなる法制度の比較検討が求められる。我が国の現状も踏まえた議論を積極的に行うべきである。速やかに普及を推奨したい事象、新たな専門家チームの立ち上げを要する分野の提言を行った。

謝 辞

本調査研究は平成22年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）「バイオテロ以外の CBRNE テロ対策に対する効果的な対策の検証と国際連携ネットワークの活用に関する研究：研究代表者：金谷泰宏」の補助を受けて実施された。

本稿の内容の一部は平成23年2月7日：平成22年度厚生労働科学研究補助金・研究班会議分担研究者成果報告「放射線災害、大規模災害時における患者空輸と血液銀行制度に関する米国の枠組み」(於 防衛省) で発表した。

我々の調査と時期を同じくして、平成23年3月11日、東日本大震災、福島第一原子力発電所の事故が発生した。被災により亡くなられた方々のご冥福を祈ると共に、被災地の早期復興を願いたい。

文 献

- 1) University of Texas Health Science Center, San Antonio
<http://www.uthscsa.edu/> (accessed 2011-04-01)
- 2) Wilford Hall Medical Center
<http://www.whmc.af.mil/> (accessed 2011-04-01)
- 3) United States Brooks City Base
<http://www.brooks.af.mil/> (accessed 2011-04-01)
- 4) United States Air Force School of Aerospace Medicine
<http://www.wpafb.af.mil/afri/711hpw/usafsam.asp> (accessed 2011-04-01)
- 5) David A. McEntire, Disaster Response and Recovery, 1st ed., p33-41, 255-257, 325-346, Wiley, NJ, USA, 2006.
- 6) National Guard Civil Support Team
http://www.ng.mil/features/HomelandDefense/cst/CST_Fact_Sheet.pdf (accessed 2011-04-01)
- 7) 近藤民代, 永松伸吾: 米国の地方政府における Incident Command System の適用実態—ハリケーン・カトリーナ災害に着目して—, 地域安全学会論文集 No.9, 2007, 11
http://www.tamiyokondo-lab.jp/pdf/essay/essay_08.pdf (参照 2011-04-01)
- 8) 財団法人自治体国際化協会: 米国における災害対策—地方政府内外での行政機関の連携— CLAIR REPORT NUMBER 264, July 12, 2005
http://www.clair.or.jp/j/forum/c_report/cr264m.html (参照 2011-04-01)
- 9) Chemical Biological Incident Response Force (CBIRF)
<http://www.marines.mil/unit/cbirf/Pages/default.aspx> (accessed 2011-04-01)
- 10) Maiello M.L., Groves K.L., Resources for nuclear and radiation disaster response, NuclearNews, American Nuclear Society, 2006 September 29-34,
<http://hps.org/hsc/documents/Sep06NNResources.pdf> (accessed 2011-04-01)
- 11) U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine, Guide for Deployed Preventive medicine Personnel on health Risk Management, technical guide 248, 2001
<http://www.nmcphc.med.navy.mil/downloads/prevmcd/malaria/usahrm.pdf> (accessed 2011-04-01)
- 12) Pell, K, Jr., Area Medical Laboratory (AML) capabilities and applications, Society of Armed Forces Medical Laboratory Scientists, 2009 Annual Meeting presentations
http://www.safmls.org/2009/2009_annual_meeting_presentations.html (accessed 2011-04-01)
- 13) 9th area medical laboratory
<http://usaphcapps.amedd.army.mil/9AML/default.aspx> (accessed 2011-04-01)
- 14) Occupational Safety and Health Administration, OSHA best practices for hospital - based first receivers of victims from mass casualty incidents involving the release of hazardous substances, 2005
http://www.osha.gov/dts/osta/bestpractices/firstreceivers_hospital.pdf (accessed 2011-04-01)
- 15) U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, The Public Health Response to Biological and Chemical Terrorism, Interim Planning guidance For State Public Health Officials, July 2001
<http://www.bt.cdc.gov/Documents/Planning/PlanningGuidance.PDF> (accessed 2011-04-01)
- 16) Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Public Health Emergency Response Guide for State, Local, and Tribal Public Health Directors, Ver.1.0
<http://www.bt.cdc.gov/planning/pdf/cdcreponseguide.pdf> (accessed 2011-04-01)
- 17) Federal Emergency Management Agency, State and Local Guide (SLG) 101, Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning September 1996
<http://www.fema.gov/pdf/plan/slg101.pdf#search='Guide for AllHazard Emergency Operations'> (accessed 2011-04-01)
- 18) Critical Care Air Transport Team (CCATT), Wilford Hall Medical Center
http://www.sammc.amedd.army.mil/patient/departments/nursing/sammc_south/ccatt/ (accessed 2011-04-01)
- 19) Christopher, G.W. and Eitzen, E.M.Jr.: Air evacuation under high-level biosafety containment:

- the aeromedical isolation team. *Emerg. Infect. Dis.* 5: 241-6, 1999.
- 20) Pristas, J.M., Lee, J., Wheeldon, D.R. and Portner, P.M.: Flight experience with the Novacor LVAS. *ASAIO J.* 47: 266-71, 2001.
 - 21) Hrezo, R.J. and Clark, J.: The walking blood bank: an alternative blood supply in military mass casualties. *Disaster Manag. Response* 1: 19-22, 2003.
 - 22) Nolin, K., Murphy, C., Ahern, J.W., McBride, K., Corriveau, M. and Morgan, J.: Chempack program: role of the health-system pharmacist. *Am. J. Health Syst. Pharm.* 63: 2188, 2190, 2006.
 - 23) Office of the Civilian Volunteer Medical Reserve Corps, Office of the Surgeon General, U.S. Department of Health and Human Services <http://www.medicalreservecorps.gov/HomePage> (accessed 2011-04-01)
 - 24) Vandre, R.H., Klebers, J., Tesche, F.M., and Blanchard, J.P.: Electromagnetic pulse (EMP), Part II: Field-expedient ways to minimize its effects on field medical treatment facilities. *Mil. Med.* 158: 285-9, 1993.
 - 25) Vandre, R.H., Klebers, J., Tesche, F.M., and Blanchard, J.P.: Electromagnetic pulse (EMP), Part I: Effects on field medical equipment. *Mil. Med.* 158: 233-6, 1993.
 - 26) Ross, L.H.Jr. and Mihelic, F.M.: Healthcare vulnerabilities to electromagnetic pulse. *Am. J. Disaster Med.* 3: 321-5, 2008.
 - 27) United States Department of Homeland Security <http://www.dhs.gov/index.shtm> (accessed 2011-04-01)
 - 28) Office of the Secretary for Preparedness and Response, U.S. department of Health and Human services <http://www.phe.gov/preparedness/pages/default.aspx> (accessed 2011-04-01)
 - 29) United States Federal Emergency Management Agency(FEMA) <http://www.fema.gov/> (accessed 2011-04-01)
 - 30) Wolf, S.E. personal presentation slides, Lessons from combat casualties 2010, Department of Surgery, University of Texas Health Science Center, San Antonio
 - 31) Sariago, J. and CCATT: a military model for civilian disaster management. *Disaster Manag. Response.* 4: 114-7, 2006.
 - 32) Beninati, W., Lairret, J., King, J., Vojta, L., McCarthy, M., Gholdson, A., and Henderson, J.: Short term outcomes of US air force critical care air transport team (CCATT) patients evacuated from a combat setting between 2007 and 2008 Chest Meeting Abstracts 2009 136: 28S-g <http://meeting.chestpubs.org/cgi/content/abstract/136/4/28S-g> (accessed 2011-04-01)
 - 33) Dorlac, G.R., Fang, R., Pruitt, V.M., Marco, P.A., Stewart, H.M., Barnes, S.L. and Dorlac, W.C.: Air transport of patients with severe lung injury: development and utilization of the Acute Lung Rescue Team. *J. Trauma.* 66: S164-71, 2009.
 - 34) Kilty, B.G., Wright, C.H., Barrett, S.F., Calkins, J.M. and Drzewiecki, T.M.: Design of a smart hemodynamic monitoring simulator. *Biomed. Sci. Instrum.* 43: 236-41, 2007.
 - 35) Derdak, S., WHMC-BAMC Adult Critical Care Reference 2009 http://wramcim.com/Derdak_Crit_Care_Ref_Sheet_May_7_2009_2_.pdf (accessed 2011-04-01)
 - 36) Barillo, D.J., Renz, E., Broger, K., Moak, B., Wright, G. and Holcomb, J.B.: An emergency medical bag set for long-range aeromedical transportation. *Am. J. Disaster Med.* 3: 79-86, 2008.
 - 37) Department of Peacekeeping Operations, United Nations, Medical Support manual for United Nations Peacekeeping Operations, 2nd Edition, 1999 [http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/LGEL-5SYHVMV/\\$file/dpko-medical-1999.pdf?openelement](http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/LGEL-5SYHVMV/$file/dpko-medical-1999.pdf?openelement) (accessed 2011-04-01)
 - 38) United States Air Force Scott Air Force Base <http://www.scott.af.mil/> (accessed 2011-04-01)
 - 39) United States Air Force Air Mobility Command <http://www.amc.af.mil/> (accessed 2011-04-01)
 - 40) United States Transportation Command, US-TRANSCOM Pamphlet 41-3, Aeromedical Evacuation: A quick reference guide for reporting patients and attendants for movement, 1 October 2000. http://www.transcom.mil/publi...s/1155-970376400000_p41-3.pdf (accessed 2011-04-01)
 - 41) United States Transportation Command, National Disaster Medical System Aeromedical Evacuation, A guide for Healthcare providers http://www.transcom.mil/tcsg...ation_clinical_guidelines.pdf (accessed 2011-04-01)
 - 42) 立花正一, 桑原紀之: 米国における患者空輸体制及び教育について. *防衛衛生* 45: 401-8, 1998.
 - 43) 加藤圭, 石川誠彦, 牧野信也, 山田憲彦, 大橋幸一郎: 米空軍における患者空輸システム. *防衛衛生* 52: 179-186, 2005.
 - 44) United States Wright-Patterson Air Force Base <http://www.wpafb.af.mil/index.asp> (accessed 2011-04-01)
 - 45) Varney SM, American College of Emergency Physicians, 13(1) January 2004 <http://www.acep.org/content.aspx?id=38962> (accessed 2011-04-01)
 - 46) South Texas Chapter, United States Health Physics Society 24(3), December 19, 2003 <http://www.stc-hps.org/pdf/1203Scrn.pdf> (accessed 2011-04-01)
 - 47) National Disaster Medical System, United States Department of Health and Human Services, <http://ndms.dhhs.gov/> (accessed 2011-04-01)
 - 48) Bader, J.L., Nemhauser, J., Chang, F., Mashayekhi, B., Sczcur, M., Knebel, A., Hrdina, C. and Coleman, N.: Radiation event medical management (REMM): website guidance for health care providers. *Prehosp. Emerg. Care* 12: 1-11, 2008.
 - 49) Weinstock, D.M., Case, C. Jr., Bader, J.L., Chao, N.J., Coleman, C.N., Hatchett, R.J. and Weisdorf, D.J.: Confer, D.L.: Radiologic and nuclear events:

- contingency planning for hematologists/ oncologists. *Blood* **111**: 5440-5, Epub 2008 Feb 20, 2008.
- 50) Wolbarst, A.B., Wiley, A.L. Jr., Nemhauser, J.B., Christensen, D.M., Hendee and W.R.: Medical

response to a major radiologic emergency: a primer for medical and public health practitioners. *Radiology* **254**: 660-77, 2010.

Medical readiness for chemical or nuclear disaster in the United States

Masanori FUJITA *, Daizoh SAITOH **, Shinichi TOKUNO ***, Masayuki ISHIHARA ****, Shoichi TACHIBANA * and Yasuhiro KANATANI *****

J. Natl. Def. Med. Coll. (2011) **36** (4) : 219–227

Abstract: International concern over disasters have arisen since the September 11th terrorist attack in the United States. The United States build up advanced crisis management systems such as the Department of Homeland Security (DHS) or Federal Emergency Management Agency (FEMA) . This study investigated how the departments and agencies collaborate with regard to medical readiness, aeromedical evacuation and the supply of blood products. The state police officers and fire departments response first, and the Area Field Office (AFO) is established by a state or the federal government. Civil Support Teams from the National Guard search for nuclear or chemical agents. Disaster Medical Assistance Teams (DMAT) provide emergency medical care. FEMA integrates local governments and agencies with state governments. Military forces cooperate with the federal government. The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) established guidelines for hospital disaster readiness. The Critical Care Air Transport Team (CCATT) provides aeromedical evacuation with standardized therapeutic procedures, and provides medical supplies and equipment. Military medical doctors double as public and private hospitals. Many retired medical doctors are also called back to work as advisers or consultants. Volunteers are widely employed. Emergency workers must be aware that the electromagnetic pulse emitting from nuclear weapon explosion might disable electronic equipment.

Key words: disaster / terrorism / radiation / chemical agency
/ aeromedical evacuation / electromagnetic pulse

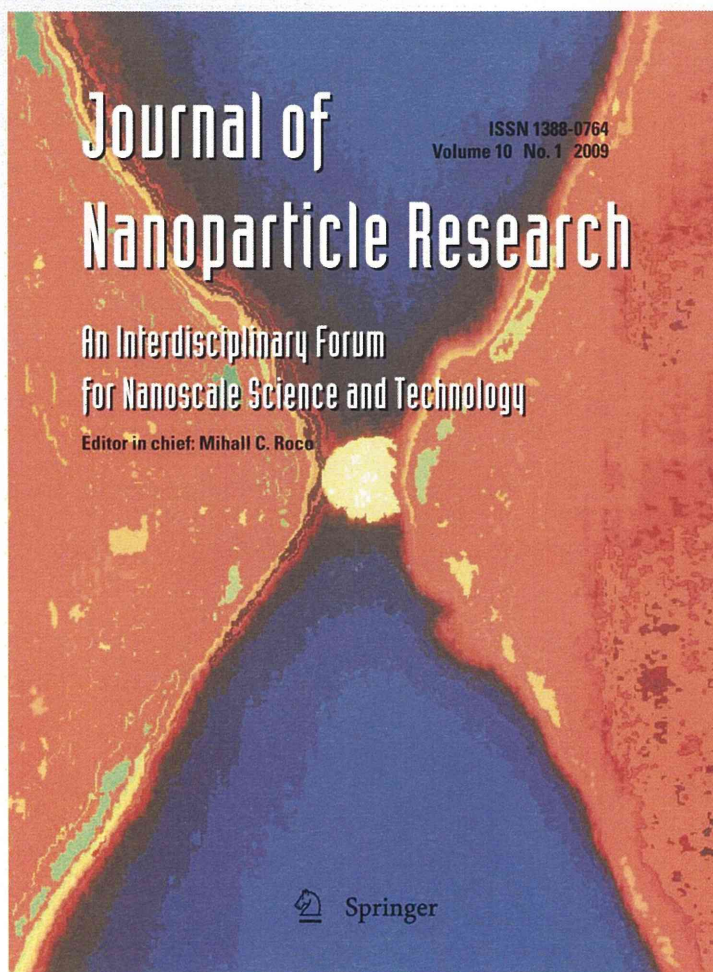
Simple and environmentally friendly preparation and size control of silver nanoparticles using an inhomogeneous system with silver-containing glass powder

Yasutaka Mori, Toshio Tagawa, Masanori Fujita, Toyohiko Kuno, Satoshi Suzuki, Takemi Matsui & Masayuki Ishihara

Journal of Nanoparticle Research
An Interdisciplinary Forum
for Nanoscale Science and
Technology

ISSN 1388-0764
Volume 13
Number 7

J Nanopart Res (2011)
13:2799-2806
DOI 10.1007/s11051-010-0168-
Z



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Science+Business Media B.V.. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your work, please use the accepted author's version for posting to your own website or your institution's repository. You may further deposit the accepted author's version on a funder's repository at a funder's request, provided it is not made publicly available until 12 months after publication.

Simple and environmentally friendly preparation and size control of silver nanoparticles using an inhomogeneous system with silver-containing glass powder

Yasutaka Mori · Toshio Tagawa · Masanori Fujita · Toyohiko Kuno · Satoshi Suzuki · Takemi Matsui · Masayuki Ishihara

Received: 24 March 2010 / Accepted: 27 November 2010 / Published online: 14 December 2010
© Springer Science+Business Media B.V. 2010

Abstract A simple, environmentally friendly method for preparing highly size-controlled spherical silver nanoparticles was developed that involved heating a mixture of silver-containing glass powder and an aqueous solution of glucose. The stabilizing agent for silver nanoparticles was found to be caramel, which was generated from glucose when preparing the nanoparticles. The particle size was independent of the reaction time, but it increased proportionally with the square root of the glucose concentration in the range 0.25–8.0 wt% (corresponding to particle sizes of 3.48 ± 1.83 to 20.0 ± 2.76 nm). Difference of the generation mechanism of silver nanoparticles between this inhomogeneous system and a system in which Ag^+ was homogeneously dispersed was discussed.

Keywords Silver nanoparticles · Caramel · Green synthesis · Size control

Introduction

Silver nanoparticles (Ag NPs) have been attracting great interest because of their potential use in various applications such as catalysis, photonic devices, biosensors, antimicrobials, and drug delivery systems (Anderson and Moskovits 2006; Damm and Münstedt 2008; Elechiguerra et al. 2005; Henglein 1980; Kumar et al. 2008; Kyriacou et al. 2004; Lee et al. 2007; Lee and Meisel 1982; Mohammed and Shipp 2006; Morones et al. 2005; Ngeontae et al. 2009; Pich et al. 2006). Many preparation processes have been proposed for controlling the physical and/or chemical characteristics of Ag NPs (Kassaei et al. 2008; Komarneni et al. 2002; Navaladian et al. 2007; Pastoriza-Santos and Liz-Marzán 2002; Petit et al. 1993; Raveendran et al. 2003; Vigneshwaran et al. 2006; Vigneshwaran et al. 2007; Xu et al. 2008; Zhu et al. 2000). The particle size of Ag NPs is one of the most fundamental parameters that affects their optical (Charlé et al. 1984; Mie 1908; Sosa et al. 2003), reactive (Henglein 1979), and antimicrobial (Elechiguerra et al. 2005; Morones et al. 2005) properties.

Recently, environmentally friendly processes that employ harmless materials have often been used to

Y. Mori · M. Fujita · M. Ishihara (✉)
Research Institute, National Defense Medical College,
3-2 Namiki, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan
e-mail: ishihara@ndmc.ac.jp

Y. Mori
Aeromedical Laboratory, Japan Air Self-Defense Force,
2-3 Inariyama, Sayama, Saitama 350-1324, Japan

Y. Mori · T. Tagawa · S. Suzuki · T. Matsui
Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan
University, 6-6 Asahigaoka, Hino,
Tokyo 191-0065, Japan

T. Kuno
Kankyo Science Co., Ltd,
16-8 Karahashi-Minamibiwa-cho, Minami-ku,
Kyoto 601-8456, Japan

prepare Ag NPs since complicated purification is not necessary for biomedical and environmental applications. Most of these environmentally friendly processes involve reducing Ag^+ using non-toxic reducing and stabilizing agents in an aqueous medium. Raveendran et al. produced Ag NPs with diameters less than 10 nm using an environmentally friendly process that employs D-glucose as the reducing agent and soluble starch as the stabilizing agent (Raveendran et al. 2003). The particle sizes of Ag NPs are usually controlled by modifying reaction system parameters such as pH, temperature, and reactant concentrations. The choice of stabilizing agent is an important factor for controlling particle size of Ag NPs since Ag^+ is reduced within the nanoscopic templates of the stabilizing agent (Vigneshwaran et al. 2006). Many environmentally friendly methods for synthesizing Ag NPs have been investigated using a variety of pathways; however, it was difficult to control a size of Ag NPs with a narrow particle size distribution (Kassaei et al. 2008; Panáček et al. 2006; Vigneshwaran et al. 2006).

In this study, we developed an environmentally friendly process to control the size of Ag NPs with a narrow size distribution. This process uses only three materials: silver-containing glass powder, glucose, and water. Silver-containing glass is usually used in environmental, osteal, or dental applications as an antimicrobial agent since it releases Ag^+ into aqueous environments in a sustained manner. Caramel, which is formed by heating glucose, functions as the stabilizing agent for Ag NPs in this system. Glucose has the advantages of being environmentally friendly and a mild reducing agent, which enables the reaction kinetics to be easily controlled. Ag NPs was synthesized in an aqueous medium with an autoclave at 121 °C and 200 kPa. The size of Ag NPs was controlled by varying the glucose concentration. Synthesized Ag NPs suspensions were characterized by UV–visible (UV–vis) spectroscopy, Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy and transmission electron microscopy (TEM).

Experimental section

Materials

Silver-containing glass powder (BSP21, silver content: 1 wt%, average grain size: 10 μm) was obtained

from Kankyo Science (Kyoto, Japan). Silver-free glass powder (RCF-015, average grain size: 15 μm) was received from NSG (Tokyo, Japan). D-glucose (>98%) and silver nitrate (>99.8%) were purchased from Wako Pure Chemical Industries, Ltd. (Osaka, Japan). Caramel (food-additive-grade, water content: 34%, derived from glucose) was purchased from Naito Shoten Co., Ltd. (Nagoya, Japan). Distilled water was used as a aqueous medium in all experiments in this work. All these chemicals were used as received without further purification.

Preparation and characterization of Ag NPs

In a typical procedure, 0.50 g of silver-containing glass powder was dispersed in 50 mL of an aqueous solution of glucose (1.00 wt%) in a 100 mL glass vial. The mixture was introduced in an autoclave using an Ikemoto IMC-30L (Tokyo, Japan) at 121 °C and 200 kPa for 20 min. The reaction was carried out without agitation. The mixture was then gradually cooled to room temperature and centrifuged at 3,000 rpm for 10 min. The supernatant was isolated as a product and stored in the dark at room temperature.

Ag NPs were also prepared by another method that did not use silver-containing glass powder. In a typical case, 12.5 mg of glucose and 0.5 mg of caramel were added to 5 mL of 0.5 mM of an aqueous solution of silver nitrate. The mixture was then introduced in an autoclave at 121 °C and 200 kPa for 20 min to obtain a suspension of Ag NPs. During the reaction, any agitation was not carried out.

UV–vis spectra were obtained at room temperature using a Hitachi U-3300 spectrometer. The pH measurement was carried out at 25 °C using a DKK-TOA HM-30 V pH meter with a combined electrode GST-5421C. TEM images were obtained using a JEOL JEM-1010 microscope at 80 kV. TEM specimens were prepared by casting a drop of a suspension of Ag NPs onto a carbon-coated copper grid; excess solution was then removed using filter paper and specimens were dried at room temperature.

FT-IR measurements

Prior to FT-IR measurements, all aqueous specimens were freeze dried with Labconco Freezone 4.5

(Kansas City, MO). The specimen powder was diluted with potassium bromide and the spectrum was recorded using a Jasco FT-IR760 Plus (Tokyo, Japan) spectrometer.

Results and discussion

Preparation of Ag NPs using silver-containing glass powder

Preparation of Ag NPs using silver-containing glass powder in an aqueous solution of glucose was carried out in an autoclave at 121 °C and 200 kPa. An excess of D-glucose relative to the silver content of the silver-containing glass powder (molar ratio ≥ 25) was used. After autoclaving, all mixtures of silver-containing glass powder and glucose became dark yellow. Independent autoclaving of either glucose or silver-containing glass powder in water at 121 °C for 20 min did not cause any change of the color of solution. Figure 1 shows typical UV–vis spectra of Ag NPs suspension prepared with glucose. TEM images revealed that all the Ag NPs synthesized in this study were spherical for all conditions (Fig. 1, inset). The average particle size of the synthesized Ag NPs is shown in Table 1. The prepared Ag NP

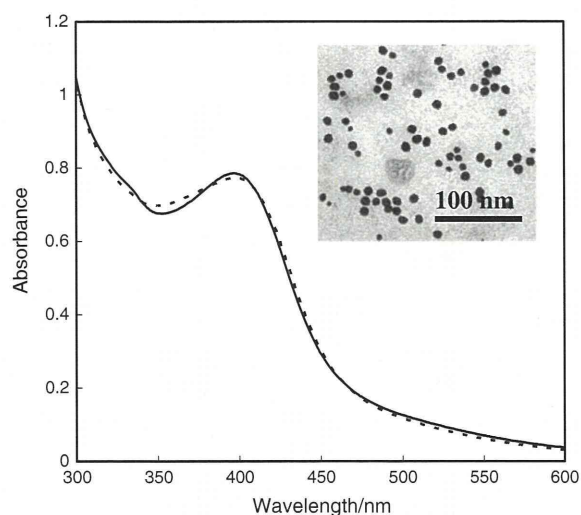


Fig. 1 UV–vis spectra and TEM micrograph (*inset*) of Ag NP suspension prepared with 1.0 wt% of silver-containing glass powder and 2.0 wt% of glucose at 121 °C for 20 min. *Solid line*: shortly after preparation; *dotted line*: after 1 month. Scale bar = 100 nm

Table 1 Average diameter of Ag NPs prepared with silver-containing glass powder and glucose solution

Glucose (wt%)	Reaction time (min)	Diameter of Ag NPs (average \pm SD) (nm)	Remarks
0.25	20	3.48 \pm 1.83	
0.50	20	4.64 \pm 1.45	
1.00	20	6.53 \pm 1.78	
2.00	20	9.97 \pm 1.66	
4.00	20	12.9 \pm 2.50	
6.00	20	18.3 \pm 2.28	
8.00	5	18.3 \pm 3.83	
8.00	10	20.0 \pm 2.76	
8.00	20	7.38 \pm 1.91	20.1 \pm 2.17 Bimodal
8.00	30	4.18 \pm 0.93	20.0 \pm 1.87 Bimodal

Reaction temperature: 121 °C

suspensions were stable for at least 2 weeks (glucose = 0.25–1 wt%) or 1 month (glucose = 2–8 wt%) when they were stored in the dark. The surface plasmon absorbance of Ag NPs (near 400 nm) was measured for each mixture. The results of UV–vis analyses on the prepared suspension indicated the existence of zerovalent Ag NPs in the aqueous medium (Charlé et al. 1984; Sosa et al. 2003). The silver-containing glass powder was a pale ash gray, indicating that it contained a negligible amount of Ag NPs. Autoclaving the silver-containing glass powder or the glucose independently did not affect the color of the mixture. Autoclaving the solutions of AgNO₃ (0.5–5 mM) and glucose (0.25 wt%) did not produce Ag NPs, but rather it produced a silver mirror on the inner wall of the vial.

Stabilizing agents such as poly(*N*-vinyl-2-pyrrolidone) (Komarneni et al. 2002; Pastoriza-Santos and Liz-Marzán 2002; Xu et al. 2008), soluble starch (Kassae et al. 2008; Raveendran et al. 2003; Vigneshwaran et al. 2006), and surfactants (Petit et al. 1993) are generally necessary for synthesizing metal nanoparticles because they prevent aggregation of the nanoparticles and do not produce bulk materials. The stabilizing agent is known to trap generated metal nanoparticles, suppressing their explosive growth and macroscopic aggregation. This implies that a stabilizing agent for Ag NPs is generated during autoclaving of the mixture of silver-containing glass powder and an aqueous solution of glucose.

Generation and stabilizing ability of caramel

To determine the generation of the stabilizing agent for Ag NPs, an FT-IR spectrum of an Ag NP suspension prepared using silver-containing glass powder and glucose was obtained (Fig. 2). For comparison, FT-IR spectra of glucose, food-additive-grade caramel (derived from glucose), and glucose solution autoclaved with silver-free glass powder were also recorded. In the spectrum of glucose (Fig. 2a), combination bands of OCH, COH, and CCH deformation (from 1,500 to 1,300 cm^{-1}), CH and OH deformation (from 1,240 to 1,175 cm^{-1}) and CO and CC stretching (from 1,175 to 950 cm^{-1}) were observed (Ibrahim et al. 2006). Combination peaks derived from OCH, COH, and CCH deformation were also observed at 915, 837, and 777 cm^{-1} . A peak at 628 cm^{-1} can be assigned to CH_2 vibration. Those peaks derived from glucose were broadened and weakened after caramelization, suggesting that fragmentation, isomerization and polymerization of glucose had occurred (Fig. 2b) (Hollnagel and Kroh 1998; Sugisawa 1966; Sugisawa and Edo 1966). In the spectrum of food-additive-grade

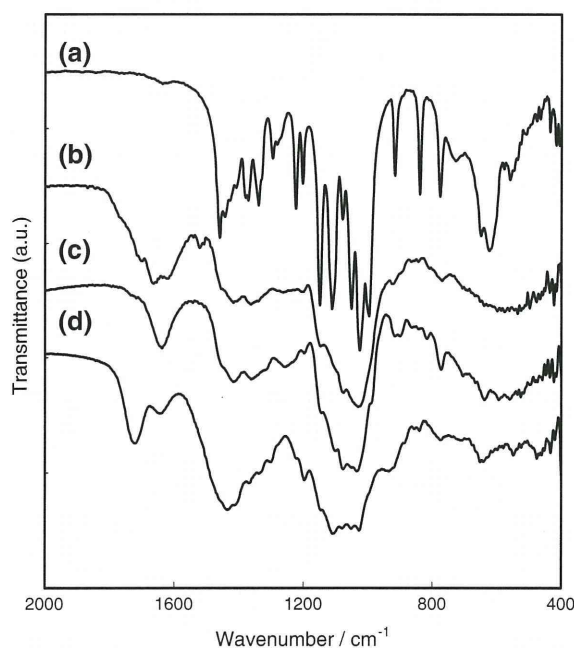


Fig. 2 FT-IR spectra of **a** glucose; **b** food-additive-grade caramel; **c** supernatant of a mixture of silver-free glass powder and 2.0 wt% of glucose after autoclaving at 121 °C for 20 min; **d** Ag NP suspension prepared with 1.0 wt% of silver-containing glass powder and 2.0 wt% of glucose at 121 °C for 20 min

caramel, peaks at 1,710 (assigned to esters, ketones and aldehydes) and 1,630 cm^{-1} (assigned to carbonic acids) were newly appeared. Generation of those carbonyl compounds from glucose by heating was consistent with occurrence of caramelization (Sugisawa 1966). Broadening and weakening of the peaks derived from glucose and appearance of carbonyl peaks were also observed in both spectra of glucose solution autoclaved with silver-free glass powder (Fig. 2c) and Ag NP suspension prepared using silver-containing glass powder and glucose (Fig. 2d).

It is known that caramelization of glucose is promoted by basic conditions (Ajandouz and Puigserver 1999). Without autoclaving, pH of 1 wt% aqueous suspension of silver-free and silver-containing glass powder were 9.14 and 8.65, respectively. After autoclaving of the mixtures of silver-free glass powder (1 wt%) and glucose aqueous solution at 121 °C for 20 min, pH of the mixtures decreased in a range from 6.45 (glucose: 0.25 wt%) to 5.23 (glucose: 8.0 wt%). Decrease of pH by autoclaving was consistent with generation of carbonic acids, confirmed by an FT-IR measurement. For the mixtures of silver-containing glass powder (1 wt%) and glucose aqueous solution, pH of the mixtures was also decrease in a range from 8.35 (glucose: 0.25 wt%) to 5.75 (glucose: 8.0 wt%) by autoclaving at 121 °C for 20 min. Independent autoclaving of glucose solution at 121 °C for 20 min scarcely caused any change in both solution color and pH. Thus, caramelization of glucose is considered to occur by autoclaving of glucose solution in the presence of glass powder irrespective of its silver content.

To confirm the ability of caramel to stabilize Ag NPs, a mixture of solutions of AgNO_3 , glucose and food-additive-grade caramel was autoclaved. The product solution was a clear yellow, suggesting generation of Ag NPs. Figure 3 shows the UV-vis spectrum of the product solution prepared with AgNO_3 , glucose and caramel. The peak at 410 nm corresponds to the surface plasmon absorbance of Ag NPs (Charlé et al. 1984; Sosa et al. 2003). It is known that polysaccharide macromolecules, such as soluble starch (molecular weight: ca. 1,000 g/mol) (Raveendran et al. 2003; Vigneshwaran et al. 2006), act as stabilizing agents for synthesis of metal nanoparticles by reduction of metal ions. The mechanism of stabilizing by polysaccharides is considered to be entrapment of metal nanoparticles inside the polymer

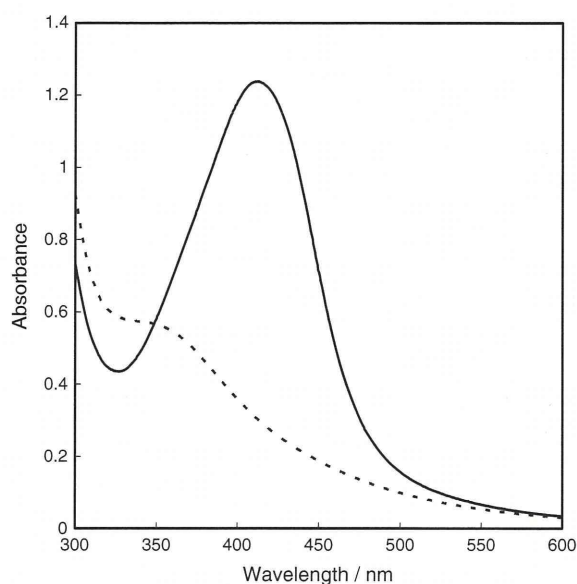


Fig. 3 UV-vis spectra of (solid line) Ag NP suspension prepared with 1 mM of AgNO_3 , 0.25 wt% of glucose and 0.1 mg/mL of food-additive-grade caramel and of (dotted line) food-additive-grade caramel

chains. Generally, caramel is a mixture composed of numerous derivatives of sugar molecules, including polysaccharides (Sugisawa and Edo 1966). Consequently, it is considered that the caramel generated during autoclaving possessed a capacity for stabilizing Ag NPs.

Time evolution of Ag NPs prepared with silver-containing glass powder

To determine the time evolution of Ag NPs prepared with silver-containing glass powder, particle size histograms, and surface plasmon absorption spectra of Ag NPs synthesized with 8 wt% of glucose are shown in Figs. 4 and 5, respectively. The samples at each time were independently prepared. UV-vis spectra indicate that the total amount of Ag NPs increased gradually up to 10 min; the spectra have similar unimodal distributions (18.3 ± 3.8 nm for 5 min and 20.0 ± 2.8 nm for 10 min). At 20 min, the size distribution of Ag NPs became bimodal (7.38 ± 1.91 and 20.1 ± 2.2 nm) due to the appearance of a new smaller component (7.38 ± 1.91 nm). A bimodal size distribution of Ag NPs was also observed at 30 min (4.18 ± 0.93 and 20.0 ± 1.87 nm). By comparison of size distributions of Ag NPs at 20 and

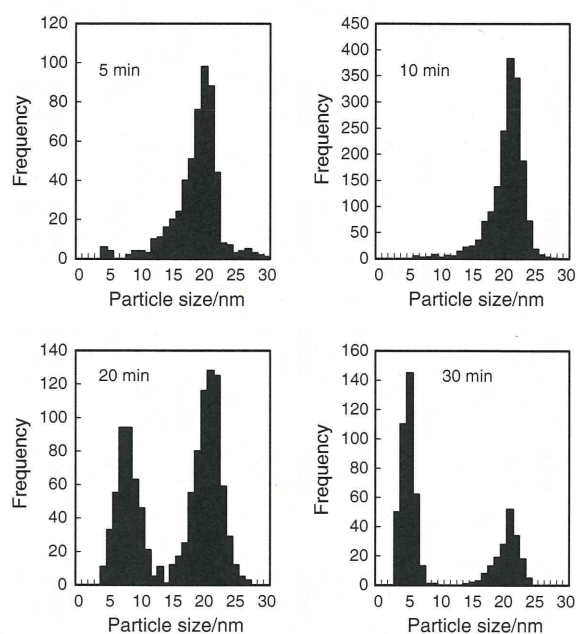


Fig. 4 Size distributions of Ag NPs prepared with 1.0 wt% of silver-containing glass powder and 8.0 wt% of glucose at 121 °C for four different reaction times

30 min, the relative number of smaller component (≤ 10 nm) was increased at 30 min. On the other hand, the surface plasmon absorption increased little between 20 and 30 min. This surface plasmon absorption behavior suggests that the available silver in the silver-containing glass powder was almost exhausted at 20 min. Since the particle size of Ag NPs was uncontrollable after exhaustion of Ag in the glass powder, the particle size of Ag NPs is considered to be independent of the reaction time only provided stable, sustained-release of Ag^+ from silver-containing glass powder occurs.

Size control of Ag NPs prepared with silver-containing glass powder by varying the glucose concentration

Figure 6 shows two typical TEM micrographs of the Ag NPs and particle size distributions obtained from these analyses. There is an obvious dependence of the particle size of Ag NPs on the glucose concentration of the mixture. For glucose concentrations in the range 0.25–4 wt%, the size distributions of Ag NPs were unimodal for reaction times up to 20 min (Table 1).

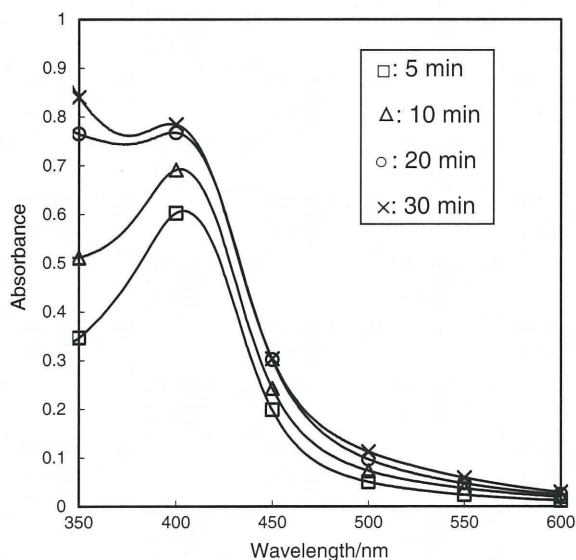


Fig. 5 UV-vis spectra of Ag NPs prepared with 1.0 wt% of silver-containing glass powder and 8.0 wt% of glucose at 121 °C for four different reaction times

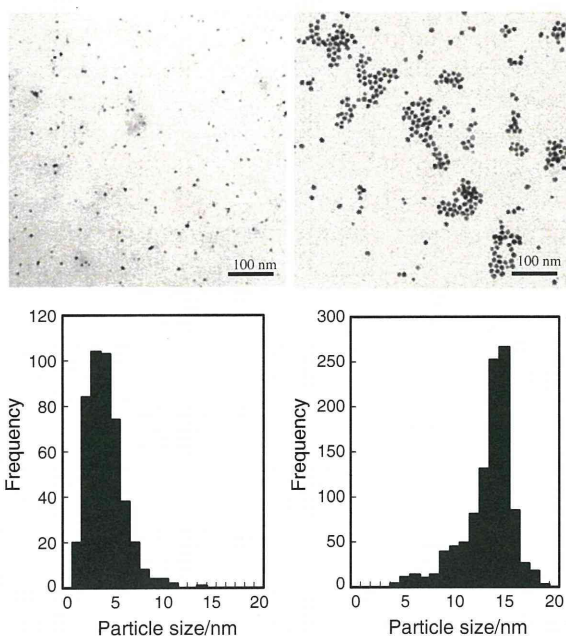


Fig. 6 TEM micrographs and size distributions of Ag NPs prepared with (left) 0.25 wt% and (right) 4.0 wt% of glucose and 1.0 wt% of silver-containing glass powder at 121 °C for 20 min. Scale bar = 100 nm

Figure 7 shows the relationship between the average particle size of the synthesized Ag NPs and the glucose concentration. Interestingly, a strong

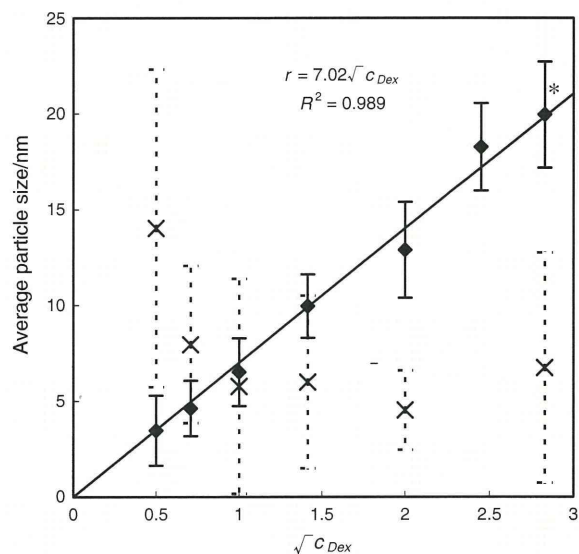


Fig. 7 Relationship between average Ag NP particle size and square root of glucose concentration at 121 °C for 20 min (asterisk: 10 min). Filled diamond: Ag NP suspensions prepared with 1.0 wt% of silver-containing glass powder; times: Ag NP suspensions prepared with 0.5 mM of AgNO₃ and 0.1 mg/mL of food-additive-grade caramel. Error bar: standard deviation; solid line: curve fitted by the least squares method

proportional relationship was observed between the Ag NP size and the square root of glucose concentration for the silver-containing glass powder system.

According to La Mer's theory (La Mer and Dinigar 1950; La Mer 1952), it is essential to control the initial number of particle nuclei and the subsequent monomer supply to growing particles to control the nanoparticle size. Particle nuclei are generated by supersaturation of the monomer and the number of nuclei increases with the supersaturation degree of the monomer. When the monomer is uniformly dispersed, a greater initial number of nuclei leads to smaller particles since the number of monomers available per nucleus is reduced. Thus, using a higher concentration of the reducing agent produces smaller nanoparticles in a system in which the monomer is uniformly dispersed. This is consistent with the observation that the size of Ag NPs prepared with AgNO₃, glucose and food-additive-grade caramel tended to decrease with increasing glucose concentration (Fig. 7).

On the other hand, the size of Ag NPs increased with increasing glucose concentration when the silver-containing glass powder was used as an Ag⁺

source. In contrast with the system in which Ag^+ is uniformly dispersed, Ag^+ is considered to be released sustainably from the surface of the silver-containing glass powder. Consequently, the Ag^+ concentration will decrease with distance from the glass surface due to both diffusion and reduction of Ag^+ . Thus, Ag NP nuclei will form near surfaces of the silver-containing glass powder since the silver atom concentration needs to be sufficiently high to achieve supersaturation. The generated nuclei will diffuse from the surface of silver-containing glass as they grow larger. Finally, Ag NP growth will cease when Ag NPs reach an area with a negligible concentration of Ag^+ .

To obtain more detailed descriptions of the nanoparticle generation mechanism in a heterogeneous system containing a material such as silver-containing glass powder that releases monomer precursors sustainably, it is necessary to perform further experimental investigations of non-equilibrium diffusion-reaction phenomena near the surface of the sustained-release materials, such as in situ measurement of distributions of reactants and Ag NPs. Nevertheless, the ability to readily predict the particle size of Ag NPs using a simple relationship is convenient for size-controlled preparation of Ag NPs. Preparation of nanoparticles made of other metals (e.g., gold, platinum, and copper) may be possible by using a glass powder containing the relevant metal.

Conclusion

Spherical Ag NPs with a narrow, unimodal size distribution were synthesized using only silver-containing glass powder and an aqueous solution of glucose by autoclaving. The stabilizing agent for Ag NPs was found to be caramel, which is produced from glucose during Ag NP generation due to the basicity of glass powder dispersed in water. The Ag NP particle size could be controlled precisely by varying the glucose concentration. In contrast to other Ag NPs production systems that initially have homogeneous concentrations of reagents, the Ag NP particle size increased proportionally with the square root of the glucose concentration. In this system which Ag^+ is inhomogeneously dispersed, differed from a homogeneous system, it is considered that the Ag NP particle size is regulated by the relationship between growth and diffusion of the Ag NPs near the surface of silver-

containing glass powder. Consequently, by studying in detail the relationship between growth and diffusion of the nanoparticles, this environmentally friendly and precise synthesis system has great potential for synthesizing metal nanoparticles.

References

- Ajandouz EH, Puigserver A (1999) Nonenzymatic browning reaction of essential amino acids: effect of pH on Caramelization and Maillard reaction kinetics. *J Agric Food Chem* 47:1786–1793
- Anderson DJ, Moskovits M (2006) A SERS-active system based on silver nanoparticles tethered to a deposited silver film. *J Phys Chem B* 110:13722–13727
- Charlé KP, Frank F, Schulze W (1984) The optical properties of silver microcrystallites in dependence on size and the influence of the matrix environment. *Ber Bunsenges Phys Chem* 88:350–354
- Damm C, Münstedt H (2008) Kinetic aspects of the silver ion release from antimicrobial polyamide/silver nanocomposites. *Appl Phys A* 91:479–486
- Elechiguerra JL, Burt JL, Morones JR, Camacho-Bragado A, Gao X, Lara HH, Yacaman MJ (2005) Interaction of silver nanoparticles with HIV-1. *J Nanobiotechnol* 3:6
- Henglein A (1979) Reactions of organic free radicals at colloidal silver in aqueous solution. Electron pool effect and water decomposition. *J Phys Chem* 83:2209–2216
- Henglein A (1980) Colloidal catalyzed multi-electron transfer processes in aqueous solution. *Ber Bunsenges Phys Chem* 84:253–259
- Hollnagel A, Kroh LW (1998) Formation of α -dicarbonyl fragments from mono- and disaccharides under caramelization and Maillard reaction conditions. *Z Lebensm Unters Forsch A* 207:50–54
- Ibrahim M, Alaam M, El-Haes H, Jalbout AF, de Leon A (2006) Analysis of the structure and vibrational spectra of glucose and fructose. *Ecl Quím São Paulo* 31:15–21
- Kassae MZ, Akhavan A, Sheikh N, Beteshobabrud R (2008) γ -Ray synthesis of starch-stabilized silver nanoparticles with antibacterial activities. *Radiat Phys chem* 77:1048–1074
- Komarneni S, Li D, Newalkar B, Katsuki H, Bhalla AS (2002) Microwave-polyol process for Pt and Ag nanoparticles. *Langmuir* 18:5959–5962
- Kumar A, Vemula PK, Ajayan PM, John G (2008) Silver-nanoparticle-embedded antimicrobial paints based on vegetable oil. *Nat Mater* 7:236–241
- Kyriacou SV, Brownlow WJ, Xu XHN (2004) Using nanoparticle optics assay for direct observation of the function of antimicrobial agents in single live bacterial cells. *Biochemistry* 43:140–147
- La Mer V (1952) Nucleation in phase transitions. *Ind Eng Chem* 44:1270–1277
- La Mer V, Dinegar RH (1950) Theory, production and mechanism of formation of monodispersed hydrosols. *J Am Chem Soc* 72:4847–4854