

# ドローンを用いた検体搬送における臨床検査への影響評価

## Evaluation on the effect of laboratory testing of clinical samples by drone transportation

草間智香<sup>1,2)</sup>, 永井友和<sup>3)</sup>, 畠山慎治<sup>1,2,4)</sup>, 江橋昭雄<sup>1)</sup>, 津田志乃<sup>1)</sup>, 上田淳夫<sup>5)</sup>,  
中村浩司<sup>5)</sup>, 貴島康二<sup>6)</sup>, 足立崇<sup>6)</sup>, 内藤麻美<sup>3)</sup>, 鈴木健嗣<sup>7)</sup>, 鈴木広道<sup>1,2)</sup>

**要旨** 本研究では、ドローン搬送によるPCR検査と血液検査への影響を評価した。SARS-CoV-2 PCR検査では搬送前後のCt値の相関は極めて高く、結果への影響は認められなかった（唾液： $r=0.996$ 、鼻腔： $r=0.967$ ）。また、血液検査における搬送前後の変動率の中央値は15%以内であったが、稀にASTやLD、NSEで溶血を示す検体が観察された。本研究において、ドローンでの検体搬送ではPCR検体で影響がないことが示された。一方で一部の血液検体で溶血を否定できない所見があり、追加検証が必要であると考えられた。

**Key words** Drone, Sample transportation, PCR, Blood test, Hemolysis

### 1. はじめに

検査プロセスにおいて検体採取から測定までの迅速性は主要な課題である。近年、ベッドサイドで測定可能なPOCT（Point-of-Care Testing）の活用が普及しているが、自動分析装置を用いた検査の意義

は今もなお高い。ドローンは、宅配サービス事業や災害時の救助活動・物資搬送で活用されるなど次世代の搬送手段であり、医療においては被災地・過疎地への医薬品配送や輸血製剤の配送への応用が報告されている<sup>1)~4)</sup>。一方で、臨床検査分野での活用は限られており、検体の検査結果に与える影響につい

Received Aug. 5, 2024; Accepted Dec. 9, 2024

Tomoka KUSAMA<sup>1,2)</sup>, Tomokazu NAGAI<sup>3)</sup>,  
Shinji HATAKEYAMA<sup>1,2,4)</sup>, Akio EBASHI<sup>1)</sup>,  
Shino TSUDA<sup>1)</sup>, Atsuo UEDA<sup>5)</sup>, Koji NAKAMURA<sup>5)</sup>,  
Koji KIJIMA<sup>6)</sup>, Takashi ADACHI<sup>6)</sup>, Asami NAITO<sup>3)</sup>,  
Kenji SUZUKI<sup>7)</sup>, Hiromichi SUZUKI<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup> 筑波大学附属病院感染症内科

Department of Infectious Diseases, University of  
Tsukuba Hospital

〒305-8576 茨城県つくば市天久保2-1-1  
2-1-1 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305-8576, Japan

<sup>2)</sup> 筑波大学医学医療系臨床医学域感染症内科学

Department of Infectious Diseases, Institute of  
Medicine, University of Tsukuba

〒305-8575 茨城県つくば市天王台1-1-1  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8575, Japan

<sup>3)</sup> つくば i-Laboratory LLP

Tsukuba i-Laboratory LLP

〒305-0005 茨城県つくば市天久保2-1-17  
2-1-17 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305-0005, Japan

<sup>4)</sup> 株式会社LSIメディエンス

LSI Medience Corporation

〒170-8555 東京都板橋区志村3-30-1

3-30-1 Shimura, Itabashi, Tokyo 174-8555, Japan

<sup>5)</sup> 筑波メディカルセンター病院診療技術部臨床検査科

Department of Clinical Laboratory, Tsukuba Medical  
Center Hospital

〒305-8558 茨城県つくば市天久保1-3-1

1-3-1 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305-8558, Japan

<sup>6)</sup> KDDIスマートドローン株式会社

KDDI SmartDrone Inc.,

〒102-8460 東京都千代田区飯田橋3-10-10 ガーデン  
エアタワー

GARDEN AIR TOWER, 3-10-10, Iidabashi, Chiyoda-  
ku, Tokyo 102-8460, Japan

<sup>7)</sup> 筑波大学システム情報系

Institute of Systems and Information Engineering,  
University of Tsukuba

〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

連絡責任者：鈴木広道

E-mail：hsuzuki@med.tsukuba.ac.jp

て十分に検討されていない。今回、PCR検査と血液検査の2領域において、ドローン搬送による臨床検体への影響を評価したので報告する。

## 2. 材料および方法

### 1) 対象検体及び試験実施時期

唾液検体及び鼻腔検体は、2023年2月5日から同年2月14日の期間で、茨城県つくば臨時発熱外来で採取され-80℃で保管されていた匿名陽性検体（唾液30検体、鼻腔30検体）を対象とし、2023年2月8日及び同年2月15日にPCR試験を実施した。また、血液検体は文書同意が得られたボランティア健康人10名を対象とし試験当日（2023年2月1日、2月15日）に採取した。本研究は筑波大学附属病院臨床研究倫理審査委員会（倫理承認番号：R03-276）の承認を得て実施した。

### 2) ドローン搬送及び梱包方法

本研究ではドローン搬送試験として、ACSL-PF2（株式会社ACSL）（Fig. 1a, 1b）を用い、筑波大学構内で実験を行った。全ての搬送試験においては、飛行レベル2（有人目視下の飛行）として、適切な

監視下で実施した。検体の梱包は、「感染性物質の輸送規制に関するガイダンス」のカテゴリーBに準じ<sup>5)</sup>、3重梱包で搬送を行った（Fig. 1c, 1d）。

### 3) ドローン搬送に伴う検体搬送容器内の温度変化・振動の評価

検体の品質に与える影響因子として、ドローン搬送中の検体搬送容器内の温度変化及び振動について評価を行った。搬送容器内の温度変化についてはWATCH LOGGER KT-255U（株式会社藤田電機製作所）を搬送容器内に設置し計測した。当日の外気温情報は気象庁ウェブサイト<sup>6)</sup>の気温データ[地点：つくば（館野）]を用いた。振動については、iPad mini5（Apple Japan 合同会社）及び振動測定アプリ（加速度ロガー、アイム有限会社）を用い、垂直方向の振動を計測した。搬送試験の比較として使用した車（VOXY, トヨタ自動車株式会社）には、輸送環境記録計タフログー TR-1000（IMV株式会社）を用いて温度・振動を計測した。使用機器の相関は、温度変化で $r=0.995$  ( $y=0.9998x$ )（スピアマンの順位相関係数）、垂直方向の振動変化では $r=0.961$  ( $y=0.9145x+0.0034$ )であり比較可能な機器であった。



a. Image photo of a drone

Flight speed	Parallel : 10 m/s Upward : 3 m/s Downward : 2 m/s
Max flight time	29 min
Payload	2.75 kg
Length/Height (with antenna)	1173/654 mm
Weight(with 2 battery)	7.07 kg

b. Basic information for drones



c. Image photo of a transport container



d. Image photo of a transport container on a drone

Fig.1

#### 4) 唾液検体・鼻腔検体を用いたPCR検査のドローン搬送による影響

唾液検体と鼻腔検体を用いたPCR検査のドローン搬送による影響を評価するために、60分の搬送前後にSARS-CoV-2リアルタイムPCR検査を実施しCt値を比較した。唾液については生理食塩水と1:2の割合で懸濁し冷凍保管された検体を使用し、鼻腔検体については検体採取後ウイルス用液体輸送培地（コパンUTM, コパンジャパン株式会社）に浸して冷凍保管された検体を使用した。試験では、冷凍保管検体を室温に戻した後、ドローン搬送前に一部分注しPCR検査を搬送前検体として実施、残検体をドローンに積載し搬送後の検体から分注し、搬送後検体としてPCR検査を実施した。

検査法は、国立感染症研究所による「病原体検出マニュアル2019-nCoV Ver.2.9.1」に記載<sup>7)</sup>の「TaqManプローブを用いたリアルタイムone-step RT-PCR法による2019-nCoVの検出」に従い、N2セットを2アッセイ測定した。RNAの抽出にはmagLEAD12gC及び専用試薬MagDEA Dx SV（いずれもプレジジョン・システム・サイエンス株式会社）を用い、測定試薬はTHUNDERBIRD Probe One-step qRT-PCR Kit（東洋紡株式会社）、測定機器にはLightCycler 96 System（ロシュ・ダイアグノスティックス株式会社）を用いた。相関の評価には各検体の平均Ct値を用いた。

#### 5) 血液検査のドローン搬送による影響

血液検査のドローン搬送による影響として、既報<sup>8),9)</sup>を参考に16項目（AST, K, LD, インスリン, NSE, PT, APTT, フィブリノゲン [Fib], AT活性, FDP, Dダイマー, WBC, RBC, Hb, Ht, 網赤血球 [RET]）を評価対象とし、60分室温静置した検体と60分間ドローン搬送した検体を、試験後に速やかに同時測定した（以下、血液検体搬送試験①とする）。1名の採血より2検体分を各試験管に分注することで10名計20検体分を評価の対象とし、室温静置の測定値を基準としてドローン搬送後の測定値の変動率を評価した。また、再現性試験（以下、血液検体搬送試験②）では、10名の対象者それぞれから1名あたり5本の生化学用の採血管で採血（室温静置用, 屋外静置用, 車搬送用, ドローン搬送用①, ドローン搬送用②）し、60分室温静置後、60分外気静置後、60分ドローン搬送、60分車搬送の4系統で5項目（AST, K, LD, インスリン, NSE）を試験後に速やかに測定し、室温静置の測定値を基準として変動率を評価した。ドローン搬送については、

ドローン搬送用①とドローン搬送用②の2本の採血管の検体を用いて1名あたり2回評価を行った。

測定機器について、AST・K・LDはLABOSPECT 008（株式会社日立ハイテク）、インスリンはAIA2000ST（東ソー株式会社）、NSEはcobas8000 e801（ロシュ・ダイアグノスティックス株式会社）、凝固系についてはCP3000（積水メディカル株式会社）、血算はXN-3000（シスメックス株式会社）を使用した。全ての測定はつくばi-Laboratory LLPで実施した。

#### 6) 統計解析

統計解析ソフトウェアはSPSS Statistics 29.0.2（日本アイ・ビー・エム株式会社）を用いた。PCR試験Ct値の相関係数にはスピアマンの順位相関係数を用い、いずれも $p < 0.01$ を有意とした。回帰式についてのみ日本臨床化学会が配布しているValidation-Support/Excel Ver 6.1を用いて標準主軸回帰式を得た。

### 3. 成績

#### 1) 検体搬送容器内の温度変化

ドローンをを用いた臨床検体搬送試験における検体搬送容器内の温度変化についてFig. 2に示す。唾液検体を用いた搬送試験において、外気温は9.4℃であり、飛行開始時14.6℃に対して飛行終了時は11.6℃（Fig. 2a）であった。鼻腔検体を用いた搬送試験（外気温3.2℃）（Fig. 2b）では、5.7℃（開始時12.5℃、終了時6.8℃）の温度変化、血液検体搬送試験①（外気温9.1℃）（Fig. 2c）では2.8℃（開始時16.1℃、終了時12.3℃）の温度変化が認められた。血液検体搬送試験②における車搬送との比較（外気温6.7℃）（Fig. 2d）において、車搬送の温度変化は0.8℃（開始時19.0℃、終了時19.8℃）であったのに対して、ドローン搬送では13.5℃（開始時22.3℃、終了時8.8℃）の温度変化が認められた。

#### 2) ドローンにおける検体搬送容器内の振動

ドローンをを用いた臨床検体搬送試験における検体搬送容器内の振動についてTable 1に示す。唾液検体、鼻腔検体を用いたPCR試験と血液検体搬送試験①を用いた試験において、垂直振動はいずれも0.04 G以下であった（Table 1a）。血液検体搬送試験②（Table 1b）において、ドローン検体搬送の振動の中央値は0.023 G（0.008 G - 0.045 G）、車搬送の振動は0.022 G（0.006 G - 0.049 G）であった。

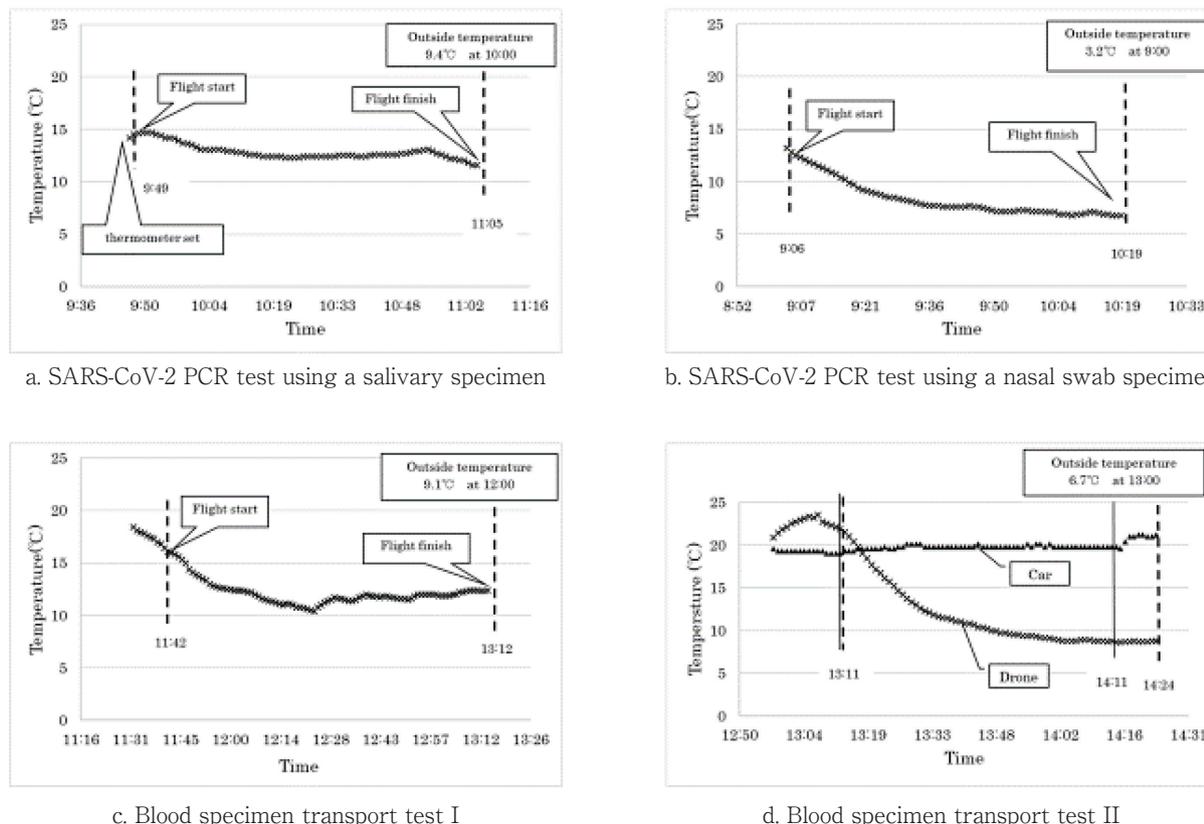


Fig.2 Temperature change in the transport container in each test

Table 1

a. Median vibration during drone transport (IQR)

	Saliva samples	Nasal samples	Blood samples
Vertical vibration (G)	0.028	0.031	0.016
Median (IQR)	(0.009 – 0.055)	(0.010 – 0.061)	(0.003 – 0.041)

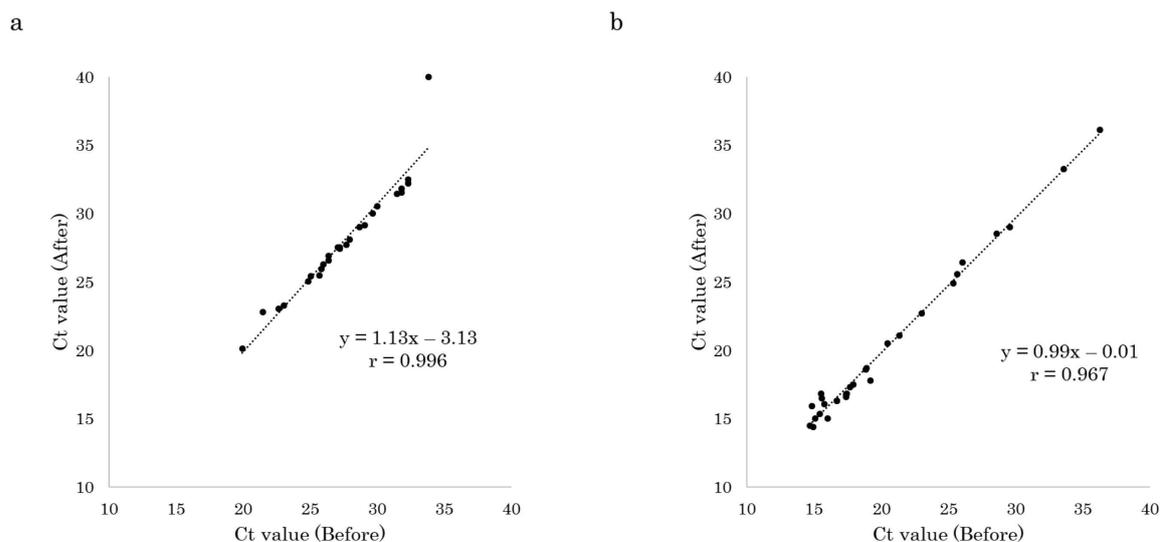
b. Comparison of median vibration (IQR) in the drone and car transport

	Drone transportation	Car transportation
Vertical vibration (G)	0.023	0.022
Median (IQR)	(0.008 – 0.045)	(0.006 – 0.049)

### 3) 唾液検体、鼻腔検体を用いたPCR検査におけるドローン搬送の影響

唾液検体、鼻腔検体を用いたリアルタイムPCR検査におけるドローン搬送の影響についてFig. 3に示す。ドローン搬送前後のどちらも陰性となったものは除外した（唾液n = 26, 鼻腔n = 29）。また、

搬送前後に結果が乖離した検体については、陰性をCt値40として解析した。スピアマンの順位相関係数は唾液検体試験:0.996 (Fig. 3a), 鼻腔検体試験:0.967 (Fig. 3b)であり、いずれも強い相関が認められた (p < 0.01)。



\* Sample for which Ct value was not calculated was plotted at 40.

Fig.3 Comparison of the Ct values before and after drone transport in SARS-CoV-2 PCR

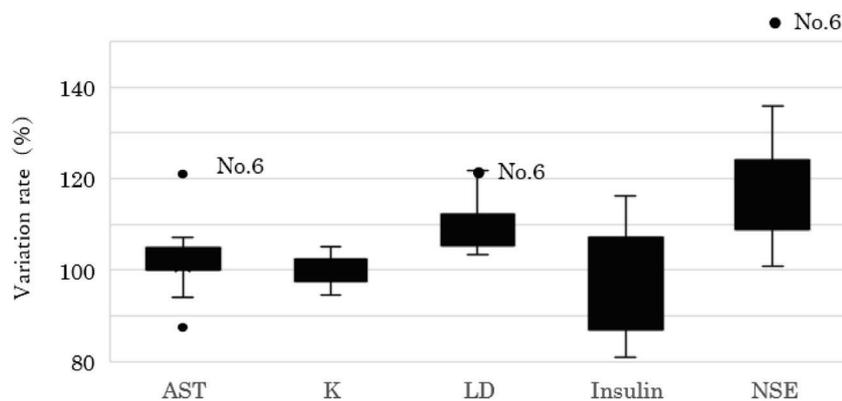
Table 2 Variation rate in the blood specimen transport test I  
Abbreviations: IQR, Interquartile range

Analyte	Median	IQR	Range
AST (%)	100.0	100.0- 100.0	87.5- 121.1
K (%)	100.0	97.5- 102.3	94.6- 105.3
LD (%)	109.3	105.3- 112.2	103.4- 121.7
Insulin (%)	95.0	87.0- 107.2	81.0- 116.3
NSE (%)	112.7	109.0- 124.1	100.8- 164.5
PT (%)	100.0	98.3- 100.0	96.5- 100.9
APTT (%)	98.9	96.6- 100.0	92.3- 103.1
Fib (%)	101.7	100.0- 103.8	97.3- 106.1
AT activity (%)	101.2	99.8- 102.0	99.6- 104.3
FDP (%)	104.8	96.1- 108.9	75.0- 123.5
DD (%)	100.0	100.0- 110.7	85.7- 125.0
WBC (%)	100.0	98.1- 101.3	94.1- 103.9
RBC (%)	100.0	98.9- 101.3	97.6- 102.4
Hb (%)	100.3	99.5- 101.3	98.5- 102.1
Ht (%)	100.4	97.2- 103.4	94.8- 104.9
RET (%)	100.0	93.4- 108.7	82.4- 118.8

#### 4) 血液検体を用いた血液検査におけるドローン搬送の影響

血液検体を用いた血液検体搬送試験①について、室温静置と比較した16項目の変動率の中央値、四

分位範囲 (IQR)、範囲 (Range) を Table 2 に示す。LD、NSE を除いた14項目の変動率の中央値はいずれも5%以内であり、IQRは16項目すべてで25%以内であった。目視にて溶血していた検体は同一ボラ



**Fig.4** Comparison of variation rate in the blood specimen transport test I (5 items)  
 Abbreviations: AST, Aspartate aminotransferase; K, Potassium; LD, Lactate dehydrogenase; NSE, Neuron-specific enolase; PT, Prothrombin time; APTT, Activated partial thromboplastin time; Fib, Fibrinogen; AT, Antithrombin activity; FDP, Fibrin degradation products; WBC, White blood cell; RBC, Red blood cell; Hb, Hemoglobin; Ht, Hematocrit; RET, Reticulocyte erythrocyte.

**Table 3** Variation rate in the blood specimen transport test II  
 Abbreviations: IQR, Interquartile range

	Outside			Drone1			Drone2			Car		
	Median	IQR	Range	Median	IQR	Range	Median	IQR	Range	Median	IQR	Range
AST (%)	100.0	100.0-100.0	91.7-100.0	101.6	95.6-105.3	94.1-107.7	100.0	99.0-105.9	94.1-136.4	100.0	100.0-106.6	95.8-115.4
K (%)	100.0	97.5-100.0	97.4-100.0	100.0	100.0-102.7	100.0-104.8	100.0	100.0-103.2	100.0-105.4	105.0	102.3-105.2	102.4-107.1
LD (%)	100.6	99.8-101.9	98.8-103.2	104.4	99.9-106.0	99.4-107.7	104.4	100.5-106.1	98.7-226.3	98.1	96.8-99.7	95.4-101.9
Insulin (%)	102.2	94.0-108.1	90.5-119.2	99.6	95.2-107.8	94.4-123.4	103.0	97.4-105.8	82.3-129.8	99.6	96.3-102.1	92.0-110.6
NSE (%)	95.5	94.2-97.3	92.5-109.1	96.8	95.1-102.0	89.4-105.4	96.6	94.3-100.3	88.8-959.8	95.8	89.8-100.2	83.8-108.4

ンティア（検体番号6）由来の検体の生化学検体1本と凝固検体1本であり、いずれも上清は肉眼的にオレンジへの色調変化が認められ、測定機器でも溶血を示していた。同検体は凝固検体の測定値について大きな変動はみられなかったものの、AST (121.1%)、LD (121.7%)、NSE (164.5%) において高い変動範囲が認められた (Fig. 4)。

再現性試験として血液検体搬送試験② (Table 3) を実施した。AST、K、LD、インスリン、NSEの変動率の中央値はいずれも5%以内であり、他の測定条件と同等であった。ドローン搬送②の影響で大きな変動範囲を認めたが、IQRでは15%以内であった。ドローン搬送②の測定条件における生化学検体1本（検体番号6）について、目視にて溶血しており測定機器でも溶血を示しており、136.4% (AST)、105.4% (K)、226.3% (LD)、82.3% (インスリン)、959.8% (NSE) と高い変動率を認めたが、

同一患者の同時採取検体においてはドローン搬送を含めいずれも5%以下の変動率であった。

#### 4. 考察

本研究においてドローンを用いた検体搬送は、外気温に影響され温度が低下することが確認された。SARS-CoV-2 PCR検査に対する影響として、唾液検体、鼻腔検体共に相関係数は極めて高く、影響がないことが示された。血液検体搬送試験では2回の試験を実施し、検査項目の変動率はいずれも中央値で15%以内であったが、稀に溶血を示す検体が認められ、AST、LD、NSEにおいて影響が認められた。

新興感染症の流行初期に際して、PCR検査は診断の中核となる一方、実施可能な検査施設は限られており、検体の搬送手段として迅速で簡便なドローンに期待される役割は大きい。COVID-19流行初期 (2020年-2021年) において、ガーナではドローン

を用いたSARS-CoV-2 PCR検体の搬送を積極的に実施することで、搬送時間の短縮への効果が報告されている<sup>9)</sup>。また、平時においてもHIV検査や結核検査に対する応用が報告されている<sup>10)</sup>一方で、これらは臨床応用に対する実施例を報告しており、搬送が検査の精度に与える影響の評価は不十分である。SARS-CoV-2 PCR検査は検体の保存温度条件による影響は受けにくいことが報告されているが<sup>11),12)</sup>、ドローン搬送後の検体を用いた場合に、搬送をしなかった場合と比較し測定値(ウイルス量)に対して与える影響は十分に示されていない。今回、我々の研究ではウイルス量の異なるSARS-CoV-2陽性検体に対して、ドローンを用いた検体搬送がウイルス量に対して与える影響がなかったことを示しており、ドローンがウイルス陽性検体の搬送手段の一つとなりうることを示した。但し本研究では、SARS-CoV-2のみを対象に実施しており、他の病原体核酸検査に対する影響については調査していない。新興感染症に対して様々な病原体が想定されることから、異なる病原体や核酸増幅検査法に対して与える影響について、今後の追加評価が望まれる。

血液検体において検査結果に影響を与える因子として溶血などが知られているが、全血の検体を遠心操作することなく冷蔵や室温に長時間放置してしまうことで、測定値に影響を及ぼすことが示されている<sup>13)</sup>。Amukeleらは、ドローン搬送における検査値への影響について、21名のボランティア検体を用いて、血算及び生化学検査7項目(Glu, UN, Cr, Na, K, Cl, CO<sub>2</sub>)を評価し、外気温(27.3℃)との差が2.5℃(24.8℃)のフライト環境において、Gluは8.0%、Kは6.2%の変動があった一方で、他の項目は5%以内であったと報告している<sup>14)</sup>。彼らは追加試験として、3000rpmの振動で検査値に与える影響を評価し、振動の影響がなかったことから温度変化が原因の可能性を報告している。

今回我々は、更に13.5℃の温度変化において、ドローン搬送に対する影響を調査した。結果として、溶血による影響を受ける検査項目に対しても、室温静置の検体と比較して一致した結果が得られ、全体として検査値の変動率は軽微であった一方で、一部の検体において、LD、NSEで顕著な変化が認められた。ドローン搬送はPCR検体と異なり、溶血の影響を受ける検査項目について温度変化が大きい環境で影響を受ける可能性があることが示された。特にNSEは溶血に対する影響を強く受けており、ドローンを用いた検体搬送には適さない事が示唆された。K、ASTについては、臨床上の大きな影響を与える

変動率ではないが、本研究は健常検体のみを用いていることや試験を冬季に限定していたことから、血液検査に与える影響や搬送において検査可能な項目について一層の検証を継続していく必要がある。

今回、臨床検体を用いたドローン搬送について評価を実施した。ドローン飛行は2022年12月にLevel 4(有人地帯での目視外飛行)<sup>15)</sup>の実施について国内で承認が得られており、特に山間部や離島などの地上での搬送手段が限られる場合において有用性が高いと考えられる。今回の実証試験についてはLevel 2(有人目視下の飛行)で実施したが、将来的にはLevel 4の実証試験を行うことで臨床検体搬送の実用化が考えられる。但し現状においては、Level 4のドローン飛行について機体認証された機台が限られていることや、搬送ルートが人口密集地である規制区内に該当する可能性も想定されるため、実用化に際してはこれらの課題についても検討を進めていく必要がある。

## 5. 結論

本研究において、ドローンでの検体搬送では、検体保管条件は外気温に影響されるが、PCR検体では影響がないことが示された。血液検体でも影響は軽微であるが、一部の検体で溶血を否定できない所見があり、追加検証が必要であると考えられた。

内容の一部は、日本医療検査科学会第55回大会にて発表した。

## 謝辞

本研究の一部は、令和4年の「先端的サービスの開発・構築等に関する調査事業【ドローンによるPCR検体輸送検討】」(内閣府)にて実施した。

## COI申告

本論文の発表に関連して、著者と連絡責任者に開示すべきCOI関係にある企業などはありません。

## 文献

- 1) 兵頭哲朗. ドローン物流の現状と展開可能性. 国際交通安全学会誌 2019;44:132-139.
- 2) 岡田英俊, 小田原弘周, 村上文一ほか. 血液搬送装置を装着した無人航空機による輸血用赤血球製剤の輸送実験. 日本輸血細胞治療学会誌 2020; Vol. 66:1-2.
- 3) Nisingizwe M P, Ndishimye P, Swaibu K, et al.

- Effect of unmanned aerial vehicle (drone) delivery on blood product delivery time and wastage in Rwanda: a retrospective, cross-sectional study and time series analysis. *Lancet Glob Health* 2022;10:e564-e569.
- 4) Ling G, Draghic N. Aerial drones for blood delivery. *Transfusion* 2019;59:1608-1611.
  - 5) World Health Organization. [Guidance on regulations for the Transport of Infectious Substances 2013-2014] [Internet] [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/78075/WHO\\_HSE\\_GCR\\_2012.12\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/78075/WHO_HSE_GCR_2012.12_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (2024年6月10日アクセス)
  - 6) 気象庁ウェブサイト(各種データ・資料)[Internet] <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html> (2024年6月10日アクセス)
  - 7) Shirato K, Nao N, Katano H, et al. Development of genetic diagnostic methods for detection for novel coronavirus 2019 (nCoV-2019) in Japan. *J. Infect. Dis.* 2020;73:304-307.
  - 8) Yanagisawa Y, Isobe K, Naito A, et al. Influence of In Vitro Hemolysis on 80 Different Laboratory Tests. *Clin.Lab.* 2017;63:219-226.
  - 9) Sylverken A A, Owusu M, Agbavor B, et al. Using drones to transport suspected COVID-19 samples; experiences from the second largest testing centre in Ghana, West Africa. *PLoS One* 2022;17:e0277057.
  - 10) Poljak M, Šterbenc A. Use of drones in clinical microbiology and infectious diseases: current status, challenges and barriers. *Clin Microbiol Infect* 2020;26:425-430
  - 11) Rogers AA, Baumann RE, Borillo GA, et al. Evaluation of Transport Media and Specimen Transport Conditions for the Detection of SARS-CoV-2 by Use of Real-Time Reverse Transcription-PCR. *J Clin Microbiol* 2020;58:e00708-20.
  - 12) Ott IM, Strine MS, Watkins A E, et al. Stability of SARS-CoV-2 RNA in Nonsupplemented Saliva. *Emerg Infect Dis* 2021;27:1146-1150
  - 13) 市原清志, 「変動要因編」, 河口勝憲編, エビデンスに基づく検査診断実践マニュアル, 第1版, 日本教育研究センター; 大阪, 2011:357-358
  - 14) Amukele TK, Hernandez J, Snozek CLH, et al. Drone Transport of Chemistry and Hematology Samples Over Long Distances. *Am J Clin Pathol* 2017;148:427-435
  - 15) 国土交通省. 無人航空機レベル4ポータルサイト [Internet] <https://www.mlit.go.jp/koku/level4/index.html> (2024年6月10日アクセス)