

関東地方で日最高気温が40°Cを超えた2007年夏の高温 その2

～JMANHMによる日最高気温の再現実験と高温要因の考察～

篠原善行*1・眞下国寛*2・桜井美菜子*3・須永次雄*4

1. はじめに

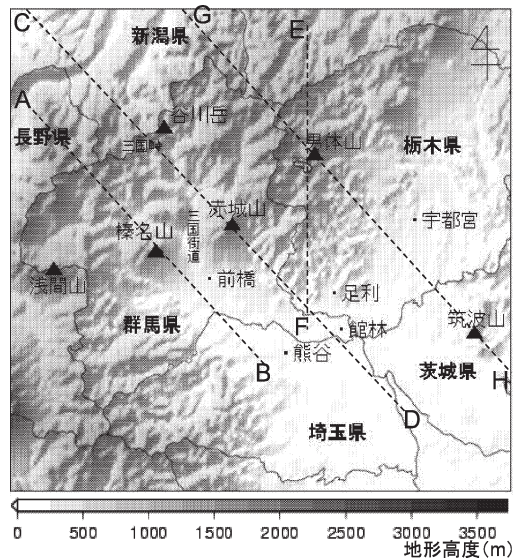
桜井ほか(2009)は、2007年8月15日と16日の関東地方内陸部の高温について、総観場の特徴や実況データなどにより事例解析をした。その結果、埼玉県熊谷市で日最高気温40.9°Cを観測し日本記録を更新した8月16日は、関東地方内陸部で力学的フェーンによる影響もあったことを指摘した。

一般に、関東平野のフェーンは、群馬県西部から北部にかけての山岳によるといわれている。また、佐藤・中鉢(1997)は、1997年7月5日に埼玉県熊谷市で日最高気温39.9°Cを観測した際には、秩父山地からの力学的フェーンが存在していたと指摘している。桜井ほか(2009)によると、2007年8月16日の熊谷のウインドプロファイラー(以下、WPRとする)観測では、2000m付近より上空の風向は概ね北西風となっていた。従って、16日の昇温は、佐藤・中鉢(1997)が指摘した秩父山地からの力学的フェーンというより、一般にいわれている群馬県西部から北部にかけての山岳による影響と考えることが妥当と思われる。

第1図に示したように、群馬県西部から北部にかけての山岳は地形が複雑で、これによる力学的フェーンは相応の内部構造を持つと考えられる。熊谷のWPR観測データを詳しく見ると、鉛直方向の風向は一様ではなく、2000m付近を境に上空は概ね北西、下層へいくほど北よりになっていた。また、熊谷の地上風向

は、16日朝から昼過ぎごろまでは概ね北西だったが、日最高気温40.9°Cを観測した14時40分前後は北～北東に変化していた。このような熊谷での風向の変化は、あるいは細かな地形により生じた気流の内部構造の一つの現れかもしれない。それでは、群馬県西部から北部の山岳を越えてきた気流の空間構造はどのようなになっているのだろうか。

この興味へのアプローチとして、気象庁非静力学モデル(以下JMANHMと記す)を用い、いくつかの数値実験(設定は第1表)を行った。それらを基に2007年8月15日と16日を対比させながら考察すると



第1図 関東地方の地形と本文中で使用する地名。地形データにはアメリカ地質調査所(USGS)の全球数値標高データ(GTOPO30)を利用した。破線とA～Hは第5図～第7図の側線を表す。

*1 Yoshiyuki SHINOHARA, 前橋地方気象台, 現: 東京航空地方気象台松本空港分室。

*2 Kunihiko MASHIMO, 熊谷地方気象台, 現: 東京航空地方気象台観測課。

*3 Minako SAKURAI, 熊谷地方気象台, 現: 気象庁予報部予報課。

*4 Tsugio SUNAGA, 前橋地方気象台。

© 2009 日本気象学会

もに、高温の日最高気温を更新した本事例の特徴を総括する。

第1表 数値実験の設定.

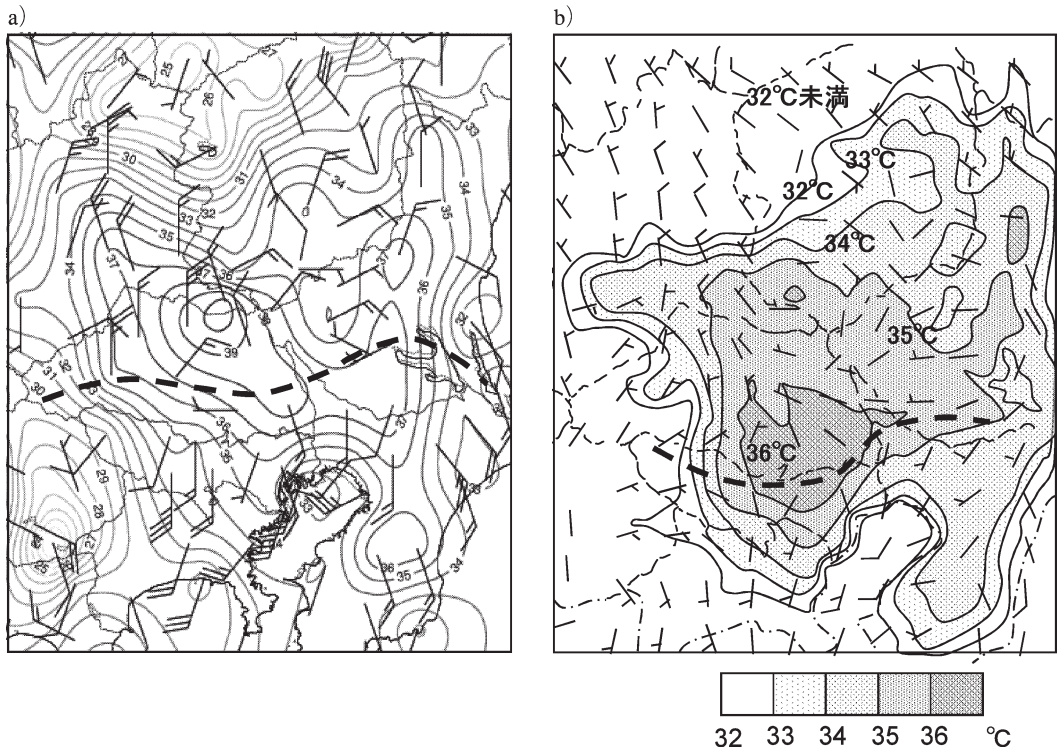
	第2図～ 第4図	第5図, 第6図	第7図, 第8図
初期値	当日(15日または16日)00 UTCの気象庁メソモデル(MSM)格子点解析値		
境界値	当日(15日または16日)00 UTCの気象庁領域モデル(RSM)格子点予測値		
水平格子間隔	5 km	2.5 km	
水平格子数	102×102	85×85	
鉛直層数	50層		
計算領域中心の緯度経度	36.15°N, 139.38°E	36.4°N, 139.0°E	36.7°N, 139.0°E
時間積分間隔	15秒	10秒	
地形データ	アメリカ地質調査所(USGS)の全球数値標高データ(GTOPO30)		

2. JMANHM によるいくつかの実験

2.1 地上気温等の再現実験

第2図に、熊谷で日最高気温の極値を更新した2007年8月16日を対象とした再現実験のうち、15時の結果を示す。実験では気温36°C以上の領域が埼玉県南東部から東京都北東部に現れたが、熊谷や館林で40°Cを超えるような気温は再現できなかった。しかし、内陸部に高温域が出現すること、埼玉と東京の都県境にシアーラインが形成されることなどは、ほぼ再現できている。ただし、シアーラインや高温域の位置は、実況よりやや南よりとなっていた。そこで、気温の絶対値ではなく気温分布に着目し、地形の影響を確認するため風上側のモデル地形の山の高さを1/2に低くする(以下、地形1/2)、なくす(以下、地形なし)の二通りに設定し数値実験を行った(第3図、第4図)。

地形1/2も地形なしもモデル地形そのまま(以下、地形あり)の第2図bと同様に、北西風と南よりの海風によるシアーラインが再現されている。しかし、



第2図 2007年8月16日15時における実況とJMANHM再現実験との比較。破線：風向風速から推定したシアーライン。a) アメダス風向風速と気温の分布。長矢羽：2 m/s, 短矢羽：1 m/s。実線：気温の等温線。1°C毎。b) JMANHMによる実験結果。気温(ドット)短矢羽：5 kt 長矢羽：10 kt (1 kt=0.51 m/s)。

シアーラインの位置が異なっており、地形が平らになる（山がなくなる）ほど海沿い（南）に位置し、東西

に長くなっている。気温35°C以上の領域はいずれの場合もシアーライン近傍からその北側に広がっているが、36°C以上の領域に着目すると、地形ありだけがシアーライン近傍のみでなく内陸部にもわずかに表現されている。

これらの結果から、関東地方内陸部の高温域やシアーラインの位置などには山岳地形が関係しており、特にシアーライン北側に広く分布する北西風の風上側に位置する群馬県の山岳が大きな影響を及ぼしていると推測できる。これは、山越えの力学的フェーンを指摘した桜井ほか（2009）に矛盾しない。

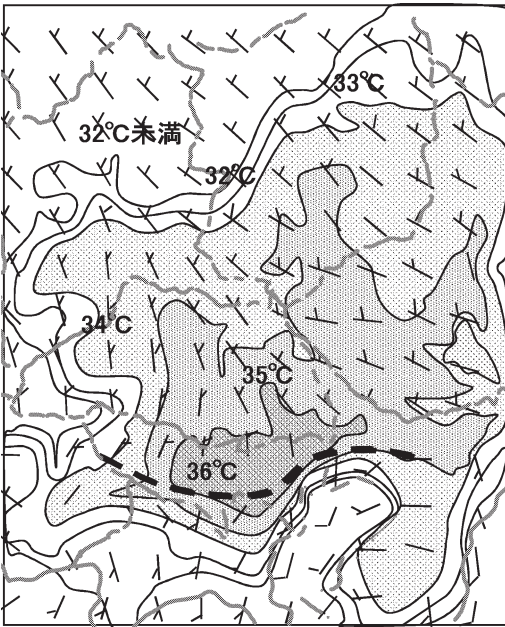
2.2 断面図からみた特徴

次に、より細かな格子間隔（2.5 km）で数値実験を行い、いくつか異なる山岳を通るよう切り口を変えた断面図を作成し温位について解析した。断面図は、熊谷 WPR の2000 m 付近の風向や地形（第1図）などを参考に、三国山脈、榛名山、赤城山等のように設定し、また、熊谷で40.9°Cを観測した前後の地上風向を参考に男体山にも着目して設定した。

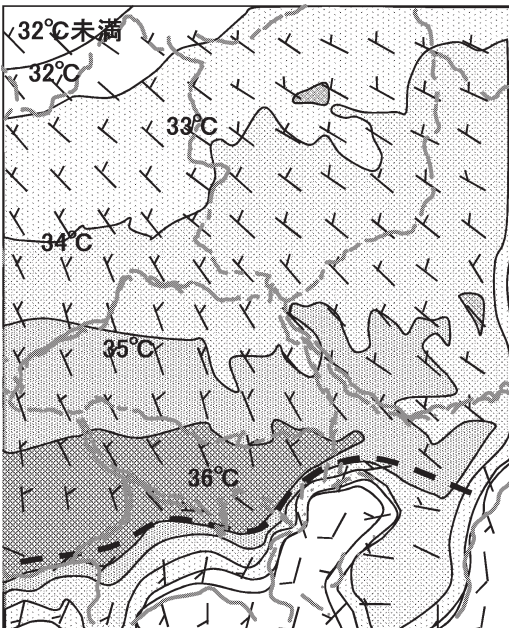
第5図は三国山脈から榛名山付近に沿う断面図である。15日も16日も榛名山の北西側では上空の高温位気塊の下降が認められるが、15日15時では平野部から山岳に向かう風が卓越し、南東側斜面の下降流は不明瞭となっている。また、地表付近の温位は両日とも榛名山北西側のほうが南東側よりも高く、北西側に着目すると15日の方が高くなっている。

第6図は三国山脈から赤城山付近に沿う断面図である。15日は、赤城山の北西側で上空の高温位気塊が下降している。しかし、当日の最高気温が40.2°Cとなった館林には達していない。16日は、赤城山の南東側斜面で上空の高温位気塊の下降が明瞭に現れている。北西側では12時の方が15時より温位が高くなっているが、その値は15日の方が高い。図は省略するが、高度補正を施したアメダス気温分布をみると、15日は群馬県南部から埼玉県にかけての平野部と赤城山北側の気温は同じぐらいに高くなっているのに対して、16日はそのようなことはなく、平野部の気温が高かった。アメダスで15日に赤城山北側の気温が高いことと、15日の方が赤城山北西側で高温位域の下降が明瞭だったことは密接に関係していると推測される。

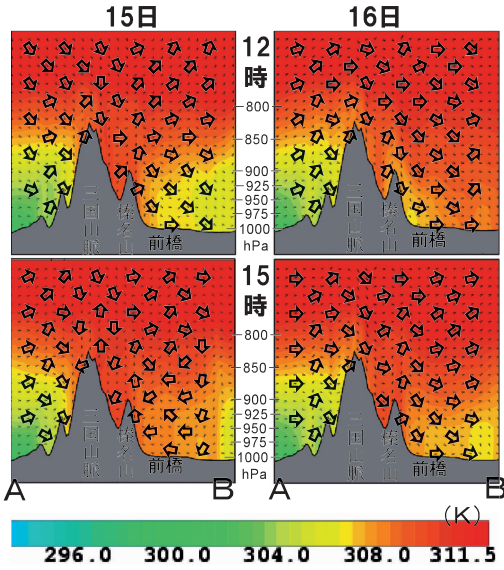
第7図は男体山付近に沿う断面図の、南北方向（左）と北西—南東方向（右）である。南北方向（第7図左）の断面図では、15日は高温位域が男体山の北側に留まっているのに対して、16日は南側の山すそま



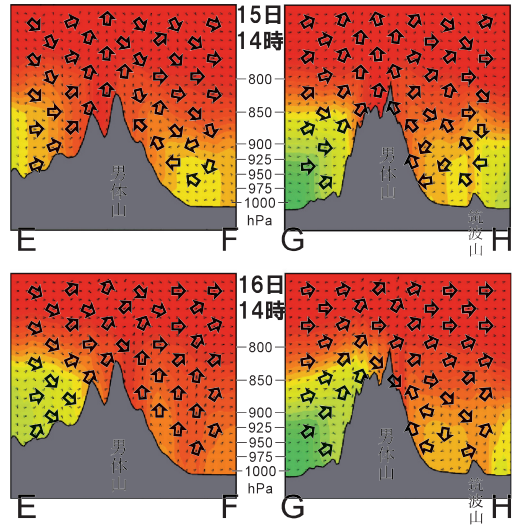
第3図 モデル地形を1/2にしたJMANHMの実験結果。但し、第2図bと同じ。



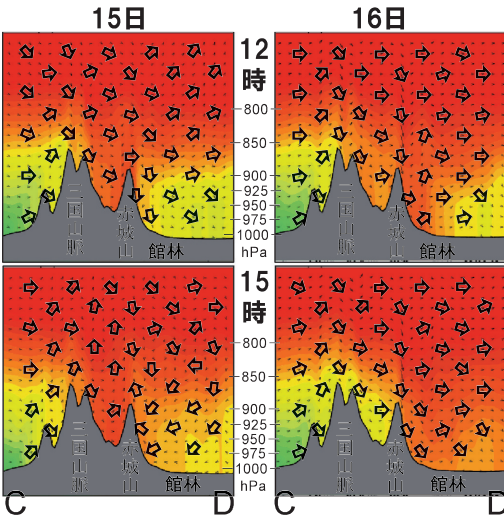
第4図 モデル地形をゼロとしたJMANHMの実験結果。但し、第2図bと同じ。



第5図 JMANHMによる三国山脈から榛名山付近(第1図A-B)に沿う断面図. 左:15日,右:16日.温位(シェード)と断面図に沿う流れの向き(矢印).



第7図 JMANHMによる男体山付近に沿う断面図.左:南北(第1図E-F)方向,右:北西-南東(第1図G-H)方向,上:15日14時,下:16日14時.温位(シェード)と断面図に沿う流れの向き(矢印).



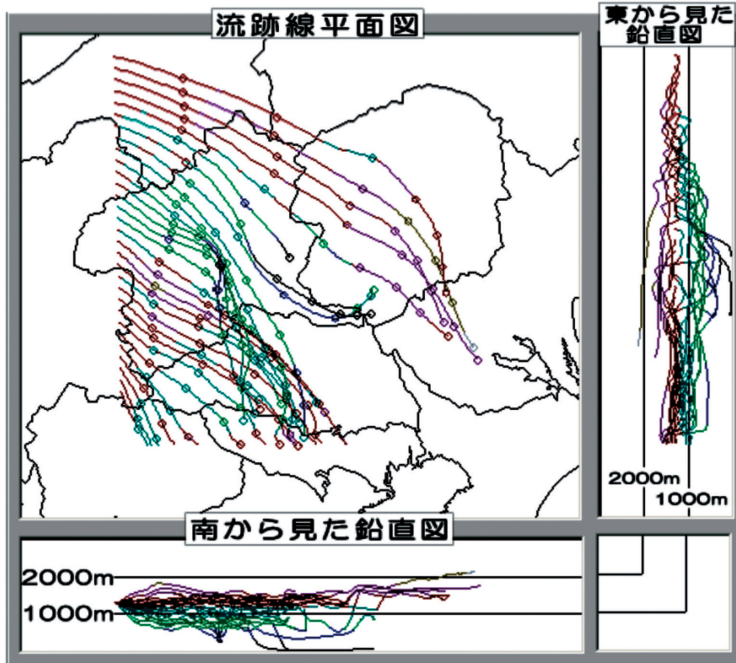
第6図 JMANHMによる三国山脈から赤城山付近(第1図C-D)に沿う断面図.但し,第5図と同じ.

で広がっている。これは、第6図でみられた高温位域は16日の方がより南側の山岳の風下側の山すそまで広がっているという特徴と同様である。北西-南東方向(第7図右)では、南北方向ほど明瞭ではないが、やはり16日の方が男体山の風下側、さらに山すそ側に高温位域が広がっているように見える。

2.3 トレーサー実験

金森ほか(2006)は、JMANHMを用いた流跡線解析の手法を提案している。これを参考に、8月16日の事例についてトレーサー実験を行った。

トレーサーは、16日09時について、東経138.6°、北緯35.9°付近から北方向の鉛直平面に、水平方向5km間隔に30個、地上50mから高度50mごとに50個を配置し、7時間トレースした。モデルの層間の速度は上の層の鉛直速度で与える簡単な設定で、トレーサーの高度がモデル地表面高度より低い場合、トレースを打ちきっている。そのため、高度の低いトレーサーは、その多くが進行前面にあたる山梨県北東部~群馬県西部~群馬県北部の山岳の手前で軌跡が途絶えた。高度の高いトレーサーは、ほぼ北西から南東に流れ、いくつかは山岳を迂回する流れとなった。第8図に、高度1300m、東経138.6度線に沿って北緯35.9°付近から北方向に5km間隔で並べた場所から流した結果を示す。ほとんどが北西から南東に流れている中で、榛名山付近で進路を南に変え埼玉県西部に流れ込むもの、赤城山の西から南を回り込むようにして館林付近に達するもの、栃木県の山岳を越えたところで進路を南よりに変え茨城県南西部を指向するものなどがみられる。鉛直方向の軌跡からは、館林付近へと赤城山を迂回する流れだけが地上付近に達していたことが



第8図 JMANHM を用い、高度1300 m からトレーサーを流した結果。○印はトレーサーの1時間毎の位置。実線はトレーサーの軌跡。黒→紺→青緑→茶色→紫→黄土色の順に高度が高くなる。

わかる。地形図とあわせてみると、この流れは赤城山の山越え気流というより、群馬・新潟県境の三国峠付近を通り、三国街道（国道17号線）に沿った流れのように見える。前述のように赤城山の南側（上空の風の風下側）は山越え気流による高温位域の存在が推測される。館林は、この高温位域を通る三国街道沿いの流れの進行方向に位置している。

次に、茨城県南西部を指向するトレーサーについて着目する。小柴（私信）は近隣のSYNOP報から求めた温位の時系列変化から16日の熊谷と日光は同じ空気塊の支配下にあったとしている。アメダスによれば、16日は栃木県北部と南部を分ける山地の裾野を回りこむような北東風が次第に風速を強めながら14時頃から埼玉県北部に進入している。この風系は、断面図（第7図）の解析で男体山の風下側から山すそ側に広がっている高温位域を通過している。しかし、男体山付近を通るトレーサーは次第に進路が南よりになってはいるものの、その軌跡は下降ではなく上昇している。男体山風下側の高温位気塊が熊谷の高温に関わっているのではないかと推察したが、トレーサー実験からは確認できなかった。

2.4 JMANHM 実験のまとめと考察

以上のJMANHMの実験結果を簡単にまとめる。

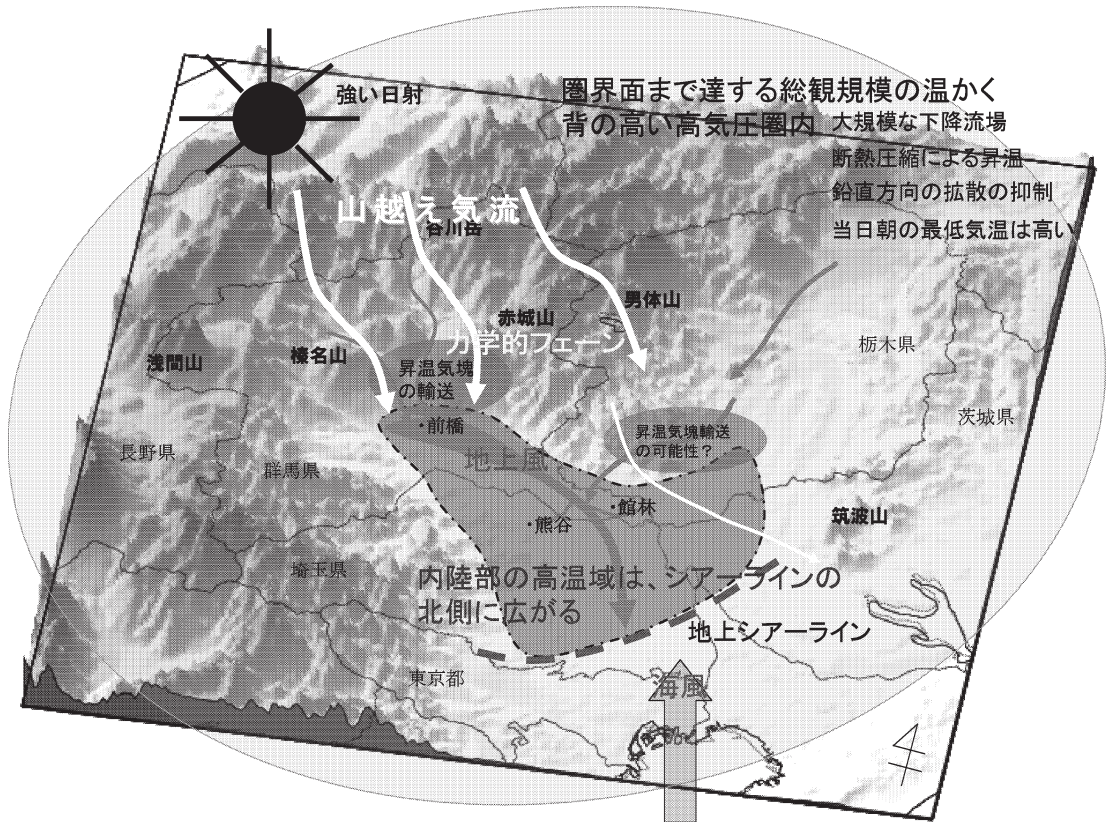
① 関東地方内陸部の高温域やシアラインの位置は、シアライン北側に広く分布する北西風の風上側に位置する群馬県の山岳が大きな影響を及ぼしている。これは、一般にいわれている関東平野のフェーンと山岳との関係と矛盾しない。

② 榛名山、赤城山、男体山などに着目し、断面図を作成した。どちらかといえば、15日はこれらの山の北側で、16日は南側で高温位域が下降していた。高温位域が地上付近まで達しているところをアメダスで見ると、相対的に気温が高くなっていた。

③ ほぼ長野群馬県境に沿う鉛直平面上に格子状にトレーサーを配置し流したところ、初めの位置（高度）により進行前面の山岳を越えられたものと越えられないものが現れた。山岳を越えられたものは、ほとんどが北西から南東に流されたが、一部は地形に沿って山を迂回するような流跡線をたどった。高度1300 m付近から流したトレーサーの中には、赤城山を迂回し地上付近に下降し館林に達するものが見られた。この流れは、赤城山南側で下降した高温位域を通過している。また、アメダスでは、男体山南側の高温位が下降した領域から埼玉県北部に向かう風系が明瞭だが、この付近をたどるトレーサーは地表付近には達していなかった。

3. まとめ

上記の結果と桜井ほか（2009）の解析結果を合わせて考察すると、2007年8月15日と16日における群馬県南部から埼玉県北部の高温の要因を以下のようにまとめることができる。また、第9図に熊谷で日最高気温の日本の極値更新となった8月16日の状況を模式図にまとめた。



第9図 2007年8月16日の関東地方内陸部における高温状況の模式図。一点鎖線で囲んだ領域が内陸の顕著な高温域。

- (1) 総観場においては、背が高く暖かい高気圧におおわれ、沈降場となっていた。大規模な下降流場であり断熱圧縮による昇温が継続した中での現象だった。また、下降流場であることから鉛直方向の空気の拡散が抑制されたことが推測される。
- (2) 15日は日照時間が長く昇温し、16日朝の最低気温も高かった。
- (3) 地上では、山越えによる北よりの風と日変化の海風とのシアーラインが明瞭だった。シアーラインは、15日は前橋付近、16日は埼玉・東京都県境に位置していた。シアーラインの北側では、相対的に昇温を妨げる海風の影響を受けず、また山越えによる力学的フェーンがもたらす高温位気塊の流入が継続し、昇温につながった。
- (4) 両日もとも山越えによる力学的フェーンによる昇温があった。昇温効果は、15日は赤城山や男体山の風上側で大きく、16日はそれらの風下側の山すそまで広がっていたと考えられる。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、熊谷地方気象台小柴 厚次長、東京管区気象台鈴木 徹技術課長、同技術課奥清治主任技術専門官、気象研究所藤部文昭室長、同小司禎教主任研究官から有益なアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

参考文献

- 金森恒雄, 栗原佳代子, 桑野富美子, 瀬古 弘, 2006: 気象庁非静力学モデルの計算結果を使った流跡線解析。地方におけるメソモデルを用いた調査研究に関する打合せ会資料。
- 桜井美菜子, 篠原善行, 真下国宽, 須永次雄, 2009: 関東地方で日最高気温が40°Cを超えた2007年夏の高温 その1~2007年8月15日と16日の事例解析~。天気, 56, 248-253。
- 佐藤和典, 中鉢幸悦, 1997: 熊谷の一番暑い日(1997年7月5日の日最高気温に関する事例解析), 東京管区気象研究会誌, (30), 132。